

PUENTES DE HIERRO

ECONOMICOS

MUELLES Y FAROS

SOBRE

PALIZADAS Y PILOTES METÁLICOS

POR

DON JOSÉ EUGENIO RIBERA

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.



MADRID

LIBRERÍA EDITORIAL

DE BAILLY-BAILLIÈRE É HIJOS

Plaza de Santa Ana, núm. 10.

(Derechos reservados).

4.014

B



PUENTES DE HIERRO
ECONÓMICOS
MUELLES Y FAROS
SOBRE
PALIZADAS Y PILOTES METÁLICOS

OBRAS DEL MISMO AUTOR

El tranvía de vapor de Torrelavega á Infiesto y Covadonga. — Estudio sobre los tranvías de vapor.

EN PREPARACIÓN

Cálculos y proyectos de los tramos metálicos.
Puentes metálicos, en arco, para grandes luces.

PUENTES DE HIERRO

ECONOMICOS

MUELLES Y FAROS

SOBRE

PALIZADAS Y PILOTES METÁLICOS

POR

DON JOSÉ EUGENIO RIBERA

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.



711019854

MADRID

LIBRERÍA EDITORIAL

DE BAILLY-BAILLIERE É HIJOS

Plaza de Santa Ana, núm. 10.

1895

PRINCIPALES CORRESPONSALES

DE LA LIBRERÍA EDITORIAL DE BAILLY-BAILLIERE É HIJOS

- ALAVA.**—Vitoria.—Pío Luis Larrañaga.—López Munain.
- ALBACETS.**—Sebastián Ruiz.—Vicente Vilar.—Hettin.—Marcelino Foriú.—Villarrobledo.—Trimejisto Pérez.
- ALICANTE.**—Vicente Tonda.—F. Alemañy.—Alcoy.—C. Vilaplana y C.^{ta}—J. Pérez Botella.—José Llorca Pericó.—Crescillento.—Ramon Torres.—Eliche.—Francisco Ferrández.—Norella.—José Santo.—Orihuela.—Angel Garcia Munera.—Villajoyosa.—Barber (Viuda é hijos de F.).—Villena.—Hijos de Muñoz.
- ALMERIA.**—Gabriel Gajate.—Mariano Alvarez Robles.—Adra.—José Serrano Meira.—Albox.—Fermín González.—Berja.—Enrique López Morales.—Guevas de Vera.—Vicente Hernández.—Dalias.—Francisco Alfores Caltejon.—Nívar.—J. Garcia González.—Tabernas.—Juan Garcia Antolinez.
- AVILA.**—Lucas Martín.—Barco de Avila.—Mariano Chico Corrochano.
- BADAJOS.**—Francisco Alvarez González.—Claymont y comp.^{ta}—Almendratejo.—Juan Botet y González.—Ion Benito.—Necanor Alvarez Muñoz.—Llerena.—Arturo Gazul.—Merida.—Julio Nález.—Villanueva de la Serena.—Leopoldo González.—Zafra.—Manuel Puente.
- BALBARES.**—Ibiza.—N...—Mahón.—Marcelino Busutil.—Manacor.—Bartolomé Frau.—Palma de Mallorca.—B. Fonderville.—José Tous.
- BARCELONA.**—E. Piaget.—I. López.—Jacinto Güell.—José Camps.—Juan Llordachs.—Pencilla y Bochs.—Badalona.—T. Claps.—Practa.—Jose Ballesá.—Juan Sirra.—Igualada.—José Mestre.—Manresa.—Miguel Bassora é hijo.—Mataró.—Mateo Noguera.—Sabaró.—L. Lladó.—Sallent.—B. Clará y Solá.—San Martín de Provensals.—J. Torrens.—Tarrasa.—J. Gorina.—Villanueva y Gelta.—Domingo Escudé.
- BURGOS.**—Avila é hijo.—Hijos de Rodriguez.
- CÁDIZ.**—J. del Pozo y Mateos.—Trujillo.—Benito Peña.
- GÓDIZ.**—Manuel Morillas.—Victoriano Ibáñez y Prado.—Algeciras.—Antonio Roca.—Enciano Martínez Llovet.—Arcos de la Frontera.—Vivas hermanos.—Ceuta.—José Cortés.—Jerez de la Frontera.—Miguel Genot.—Linea de la Concepción.—Juan de los Santos.—Medina Sileonia.—Teodoro Fernández.—Prado del Rey.—Francisco Orellana.—Puerto de Santa María.—José Luis García y Miguel Garrillo.—Rota.—José Almisas.—San Fernando.—José M. Gay.—Véger.—Juan J. Junco.
- CANARIAS.**—Arrecife.—S. Lleó.—Las Palmas.—J. Martín Velasco.—Santa Cruz de Tenerife.—A. Delgado Yumar.—Santa Cruz de la Palma.—T. Torres Luján.—Orotava.—Joquin Herreros.
- CASTELLÓN.**—José Rovira Borrás.—Vinaroz.—Juan Botella.
- Ciudad Real.**—Ramón Clemente Rubisco.—Daimiel.—Juan Antonio Mauri.—Valdepeñas.—Casto Pérez Pozo.
- CÓRNOBA.**—Viuda de Gacto.—Francisco A. de Muela.—Manuel Garcia Lovera.—Cabra.—Hijos de Casulla.—Lucena.—F. Berjillos.—Prigo.—Nicolás Valverde Medina.—Puente Genil.—J. Estrada Muñoz.—Rute.—Francisco Mangas Caballero.
- CORUÑA.**—Agustín Escudero.—Eugenio Carré.
- Viuda de Ferrer é hijos.—Ferrol.—Eduardo Varela.—Obertin (Viuda é hijos de).—Ortigueira.—Gervasio Rubido.—Santiago.—J. Escribano.—José Galí Camps.
- CERENA.**—Mariana é hijos (Viuda de).
- GRONA.**—Pasciano Torres.—José Más.—Francisco Pressas.—Olol.—José L. Guevara.—Damaso Santalá.—Jose L. Guevara.—Paulino Ventura.—Sahatí (Viuda é hijos de).—Baza.—Camus Badia.—Guadix.—Francisco Navarro.—Leja.—Damaso Cerezo.—Montefrío.—Bernardo Aparicio.—Nolrit.—E. López Jiménez.
- GUADALAJARA.**—Antero Concha
- GUERZCOA.**—San Sebastián.—Victor Bengnet.—Librería Central.—Hijos de Ignacio R. Barroja.—Viuda de Osés.—Irun.—Bernardo Valverde.
- HUELVA.**—Eugelio Buenda.—Aracena.—Menéndez hermanos.
- HUESCA.**—F. Iglesias Lacostena.—Jacoba Maria Pérez.
- JAEÉN.**—A. Cancio Uribe.—M. Ramirez.—Alcala la Real.—E. Contreras y C.^{ta}—Andújar.—Antonio Escribas.—Bailén.—Juan Alonso.—Baza.—Hijos de Raimundo Alhambra.—Linares.—Eloy Montes.—Martos.—Amador Dorado.—Porcuna.—Ildefonso Valenzuela.—Lobos.—Viuda de Redondo.—Valtepeñas.—G. Mills.
- LEÓN.**—Herederos de Miñón.—M. Garro.—Astorga.—López (Viuda é hijos de).
- LÉRIDA.**—E. Ribelles.—Jaime Amorós.
- LEROÑO.**—Cipriano Garcia.—Viuda de Alonso é hijos.—Viuda de Venancio de Pablo.
- LEGO.**—Juan Antonio Menéndez.—Mondongo.—Ramon Folguera.—Sarría.—Castiella.
- MADRID.**—Bailly-Bailliere é hijos.—Alcala de Henares.—Julian Lobo.
- MÁLAGA.**—José Duarte.—Juan González Pérez.—Salvador Duran.—Antequera.—Nicolás Visconti.—Cain.—F. Palomo.—Ronda.—Manuel Terroba.—Vélez Malaga.—J. de la Cueva Martin.—Casamayor.
- MURCIA.**—Camilo Botella.—Rafael Almazán.—Cartagena.—W. y L. Garcia hermanos.—Cieza.—José Moreno Piñera.—Jumilla.—Emeterio Martinez.—La Unión.—Enrique Egea.—Lorca.—Eduardo Vilches.—Moratilla.—Prudencio Fernández.—Totana.—Joquin G. Morato.—Yecla.—Joquin Azorru.—Francisco Garcia.
- NÁVARRA.**—Pamplona.—Aramburu.—Viuda de Carrió.—R. Bescansa.—Tudela.—Roldán Pérez y C.^{ta}
- OVARNES.**—Nemesio Pérez.—Vicente Miranda.
- OVIEDO.**—Juan Martinez.—Aviles.—Francisco Fernández.—Gangas de Onís.—Antonio Peláez.—Gijón.—Hermógenes Andrade.—L. Méndez.—Infesto.—Victor Garcia.—Llanes.—Angel de la Vega.—Francisco López.—Pravia.—José de la Vega.—Tineo.—N...—Villavieja.—Francisco Zaldivar.
- PALMENA.**—Abundio Z. Menéndez.—Eleuterio Riocán.
- PONTEVEDRA.**—B. López Paratcha.—Antonio Garcia.—Tuy.—Viuda é hijos de L. P. Hermida.—Vigo.—Eugenio E. Dominguez.—José Nieto.—E. Krapp.
- SALAMANCA.**—Hidalgo.—Manuel Hernández.—Vicente Oliva.—Viuda é hijo de Calón.—Bejar.—Cipriano Tapia.—Ciudad Rodrigo.—Viuda de Cuadrado.
- SANTANDER.**—G. Carriles.—Luciano Gutiérrez.—Sobobia.—Manuel Mecina.

(La lista de Corresponsales termina en el tomo segundo).

AL EXCMO. SEÑOR

D. PRÁXEDES MATEO SAGASTA

INSPECTOR DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS.

PRESIDENTE DEL CONSEJO DE MINISTROS.

Al hombre de ciencia y al político eminente, ofrezco el humilde fruto de mis estudios constantes. Jamás hallaría otro objetivo ni más digno ni más grato á mi particular afección.

Acéptele, pues, el distinguido amigo y bondadoso compañero, como prueba irrecusable de la consideración y del afecto que le tributa

EL AUTOR.



Á MIS COMPAÑEROS

Podría creerse, al ver el gran número de páginas y láminas del presente libro, que he tenido la pretensión de enseñar algo nuevo á mis compañeros y colegas, y lejos de mi ánimo tal presunción, he de explicar, como exordio á mi trabajo, los motivos que me impulsaron á publicar estas desaliñadas cuartillas, al par que solicito la indulgencia de todos, por haber preterido *la calidad á la cantidad*, lo que encarece seguramente el precio de adquisición de la obrita, sin aumentar en un ápice su mérito científico, que juzgo problemático.

Cuando en el año 1887, un mes después de mi salida de la Escuela de Caminos, me destinó la Superioridad en clase de ingeniero á la provincia de Oviedo, uno de los primeros trabajos de que tuve que ocuparme fué el del proyecto del puente de Rivadesella, para sustituir el ya carcomido puente de madera que atraviesa el río Sella en aquella villa, cerca de la desembocadura en el mar, y con una longitud de 300 metros. Se trataba, pues, de una obra importante, superior á mis fuerzas y conocimientos.

Los sondeos ejecutados en el probable emplazamiento del puente por mi digno antecesor en aquel servicio, don Luis Acosta, habían demostrado que el lecho del río estaba constituido por capas superpuestas de arenas y guijo, y del estudio que hice de los diferentes sistemas de funda-

ción que podían adoptarse, me pareció el más indicado el de palizadas metálicas sobre pilotes de rosca ó Mitchell, que había ya supuesto aplicable aquel distinguido Ingeniero; pero mi ignorancia sobre esta clase de obras, de las que nuestros libros de texto apenas daban ligeras indicaciones, me obligó á buscar en las revistas profesionales más amplios datos sobre las aplicaciones de dicho sistema especial de fundación, y aunque muy diseminados, logré encontrar planos y modelos de algunas obras construídas sobre pilotes de rosca, que me permitieron presentar el proyecto del puente definitivo de Rivadesella en diciembre de 1888; el que, después de algunas modificaciones de detalle, fué aprobado por la Superioridad, y cuatro años después, en 1892, sacado á subasta (1).

Á raíz de este suceso, diferentes compañeros me pidieron copias de los planos del proyecto, y algunos redactores de *La Revista de Obras públicas* me excitaron á escribir artículos sobre el sistema, por lo que, creyendo pudieran ser útiles tales datos, me decidí á prepararlos; pero cada día más interesado por la importancia del problema, fuí, poco á poco, completando los antecedentes y apuntes que ya tenía reunidos, y cuando comencé la tarea de clasificarlos, observé que planos y cuartillas habían adquirido proporciones superiores, en cantidad, al programa y dimensiones de *La Revista de Obras públicas* citada, y que sólo podían tener cabida en un libro.

El detenido estudio de la cuestión me permitió observar también que las fundaciones sobre pilotes metálicos, por su fácil ejecución y su extraordinaria economía, satisfacen en absoluto las indispensables condiciones de *solidez, estabilidad y duración*, pudiéndose emplear con éxito en

(1) Hoy día se encuentra esta obra en el período de ejecución, y espera terminarse para fines de 1895.

multitud de casos para los que se suelen adoptar procedimientos de fundación mucho más onerosos.

Por otra parte, las redes principales de ferrocarriles, las carreteras de más tránsito, los muelles y faros de importancia, se hallan ya contruídos, sin que hasta aquí ni los gobiernos ni las empresas hayan aquilatado su costo, por tratarse de obras de indiscutible utilidad. Puede, por consiguiente, decirse que, en el orden de ideas hoy imperantes, sólo restan por construir las redes secundarias de ferrocarriles, las carreteras de tercer orden, los caminos provinciales y vecinales, y finalmente, las obras públicas de toda clase en Ultramar y colonias, ó en las comarcas donde escasean la riqueza y la población.

No debe, pues, pensarse en realizar estas obras con la misma suntuosidad y desembolsos que las de interés general. El ingeniero ya no debe tratar de proyectar genialmente y de vencer, cueste lo que cueste, las dificultades topográficas ó geológicas que puedan presentarse; es preciso, sobre todo y ante todo, construir con *solidez* y *economía*.

Asimismo, se ha escrito mucho sobre ferrocarriles económicos; todos los ingenieros saben estudiar un camino vecinal, pero no conozco ninguna obra dedicada especialmente á *puentes económicos*. De aquí el que, notando un hueco que llenar en esta importante rama de la ciencia, y recordando el lapso de tiempo y trabajo que necesité para reunir los datos más necesarios sobre las obras de este género hasta aquí ejecutadas, concebí el pensamiento de evitar á mis compañeros y colegas tan ímprobos investigaciones y he creído serles útil decidiéndome á publicar la presente obrita.

En el inmenso edificio de la ciencia, cuya magnitud se desarrolla incesantemente con notables libros y trabajos, el ingeniero de más ínfima personalidad puede y hasta

debe aportar su modesta colaboración, aunque sólo fuera como justo tributo de gratitud debido á los colegas cuyas estimables obras nos permitieran estudiar la ciencia ingenieril y el arte de la construcción.

Otra circunstancia además me ha impulsado también á dar á la estampa mi libro. En otros países, los ingenieros ó arquitectos construyen cualquier obra, y por insignificante que ésta sea, en las revistas profesionales ó en los libros técnicos son reproducidos inmediatamente los planos y cálculos que han precedido á su ejecución; en España, por el contrario, se ha construído mucho y bueno, difícil y barato, y cuesta tanto trabajo obtener el menor detalle sobre nuestras nacionales obras, como descubrir en las vastas soledades del africano desierto algún monumento egipcio sepultado.

Buena prueba de cuanto afirmo puede aducirla mi propia experiencia en el presente trabajo. De un puente en Cochinchina, de otros en Chile ó Venezuela, de un muelle ó faro en Irlanda, adquiriré fácilmente informes y datos de todas clases; mas para alcanzar los análogos de algunas obras españolas, tan notables ó más que aquéllas, he tenido que escribir innumerables cartas y molestar con mi insistencia á compañeros y amigos, aunque no siempre con el lisonjero éxito que era de esperar.

Procediendo de este modo, cuando llegué á reunir todos los datos para el estudio de la cuestión, observé que en España era donde más y mejor se había empleado un sistema de fundación que siempre consideré como extranjero, y en dicha observación he basado mi empeño de dar á conocer las notables aplicaciones que en nuestra propia Península han sido hechas con los pilotes de rosca.

De este modo también podrá saberse fuera de aquí que los ingenieros españoles no van á la zaga de los extranjeros, y aunque en su mayor parte desconocidas, merecen

las obras por ellos proyectadas y construídas ser muy tenidas en cuenta, y hasta imitadas en ciertos casos, para que se les dispense la consideración científica á que son acreedores en el ramo de ingeniería, ya que en otros del saber humano quizá no raye España á la altura de otras naciones.

Réstame, como última palabra, dar las gracias públicamente á mis colegas y compañeros MMr. Pozzi, Beau y Laurent, Sres. Pérez de la Sala (D. Pedro), Sanz (D. Antonio), Aramburu, Molini, García Arenal, Terán, Galán, Fernández Vega, Albelda, Llatas, Elorza, Muguerza, Velasco, y á los directores de las fábricas de Braisne-le-Comte, Valentín et C.^{te}, Mieres y La Maquinista Terrestre y Marítima de Barcelona, quienes, por los datos y planos que me han facilitado, vienen á ser los colaboradores de mi libro, al permitirme dé á conocer un gran número de obras incógnitas, y sobre las cuales nada se ha publicado hasta la fecha.

A impulso de idéntico pensamiento, en la actualidad preparo otros dos libritos sobre *Cálculos y Proyectos de tramos metálicos* y sobre *Puentes metálicos en arco para grandes luces*, y si el resultado del modesto trabajo que hoy ofrezco al público técnico responde al buen deseo con que lo doy á luz, continuaré la impresión de mis restantes observaciones, sólo inspirado en el propósito de *ser útil* á todos mis colegas y compañeros.

JOSÉ EUGENIO RIBERA.



PUENTES DE HIERRO ECONÓMICOS

MUELLES Y FAROS

SOBRE PALIZADAS Y PILOTES METÁLICOS

CAPÍTULO PRIMERO

INCONVENIENTES DE LOS SISTEMAS DE FUNDACIÓN GENERALMENTE EMPLEADOS

Condiciones generales topográficas y geológicas de los terrenos para el paso de los ríos.—Fundaciones por agotamiento.—Por dragado.—Sobre pilotes.—Por el aire comprimido.—Inconvenientes de estos sistemas, que obligan á reducir el número de apoyos.—Importancia de la reducción de la luz en los puentes metálicos.—Necesidad de construir pilas económicas.—Las palizadas sobre pilotes metálicos resuelven esta dificultad.

Nuestro estudio se ocupará muy principalmente de los puentes y viaductos, y vamos en primer término á examinar los casos que con más generalidad se presentan en la práctica.

El camino que se proyecta construir puede encontrarse, ó en un terreno montañoso, ó en un valle, ó en el litoral.

En las montañas, los cauces suelen estar muy encajonados y las rasantes altas. El terreno es duro, la cimentación fácil, la piedra casi siempre próxima y abundante. En estos casos, las fundaciones de fábrica están indicadas; si el barranco es estrecho ó poco profundo, el puente ó viaducto puede casi siempre construirse de piedra; si la luz es grande y la rasante muy alta, deben proyectarse tramos ó arcos de hierro, con ó sin pilas intermedias.

Cuando el camino se encuentra en los valles, las circunstancias topográficas y geológicas varían muy sensiblemente.

El volumen de las aguas es mayor, si bien su velocidad disminuye; el suelo está constituido generalmente por capas sucesivas de aluviones, casi siempre incompresibles, á menudo socavables.

Las fundaciones son más difíciles y la piedra suele escasear. La longitud y el desagüe del puente tienen que ser mayores, pero la altura de la rasante es pequeña y casi constante en toda la longitud de la obra.

A medida que por los valles se desciende hacia el mar, todos estos caracteres se acentúan. En el litoral, los ríos resultan más anchos aún; á veces son verdaderos brazos de mar, influidos por las mareas. La velocidad de las corrientes es ya poco sensible, el lecho del río es cada vez más fino y está constituido por arenas y hasta por capas profundas de fango.

Se ve, pues, en resumen, que salvo en las montañas, en donde las circunstancias locales y las exigencias del trazado precisan mucho el problema, y en donde casi siempre se encuentran fundaciones fáciles y piedra abundante, en los trazados de los valles, *que son los más frecuentes*, se presentará á menudo el problema de atravesar ríos con obras de baja rasante, cimentadas en terrenos de aluvión, casi siempre *permeables é incompresibles*, muchas veces *socavables*, por lo menos hasta cierta profundidad.

Los muy diversos procedimientos empleados para fundar en estas clases de terrenos se describen minuciosamente en todos los tratados de construcción de puentes, y no es este el lugar de reproducirlos, pero sí conviene examinar los más comúnmente empleados y evidenciar los inconvenientes que presentan en la práctica.

Fundaciones por agotamiento.—El natural deseo de fundar en seco, lo que permite ejecutar una fábrica bien homogénea, arrastra frecuentemente al ingeniero á la idea de agotar con cucharas ó con bombas las excavaciones de los cimientos cuando la permeabilidad del terreno produce filtraciones, empleándose este procedimiento con ó sin ataguías, según que el nivel ordinario de las aguas supere ó no al del terreno natural.

¿Pero cuántas veces ocurre que los gastos de agotamiento superen á la cantidad calculada?

Se cree que con una bomba Letestu se llegará á dominar las filtraciones, y cuando se llega á cierta profundidad convéncense de su impotencia. A veces se desiste de ir más lejos y se funda, aunque no se haya alcanzado un terreno conveniente; otras veces se trae á la obra, con grandes gastos, una locomóvil y bombas centrifugas que no siempre pueden vencer la dificultad; se

pierde tiempo, se corre el peligro de que una avenida destruya todo lo ejecutado; pueden ocurrir desprendimientos, hay que entibar las paredes, reforzar constantemente las ataguías...

Otras veces, después de haber ensayado todos los medios de agotamiento, se reconoce la imposibilidad de dominar las filtraciones, y se recurre entonces al siempre costoso auxilio de los buzos para terminar una excavación que se suponía fácil, á menos de decidirse á fundar de cualquier modo, lo que es aún peor.

En una palabra, el sistema de agotamiento es bueno cuando resulta fácil y barato; pero en muchas circunstancias debe rehuirse, porque es arriesgado y puede ser costosísimo.

Fundaciones por dragado.— Cuando sobre el terreno hay una capa de agua de altura variable, ó que el suelo sea demasiado permeable para permitir los agotamientos, se suele preferir dragar la excavación, sea con cucharas, sea con dragas sencillas, á ejecutarla con buzos, según los casos.

Pero también este sistema de fundación está sometido á los peligros de una crecida inesperada, como casi todas las crecidas, que destruya la excavación, arrastre los andamios y materiales y obligue finalmente á empezarlo todo de nuevo.

Verdad es que puede obviarse en parte este peligro ejecutando la excavación en un cajón sin fondo, ó mejor aún en un recinto de pilotes y tablestacas; pero todos estos procedimientos resultan muy costosos y presentan el inconveniente de que el hormigón ejecutado debajo del agua no tiene, por muchas precauciones que se tome, la homogeneidad y resistencia que se obtiene ejecutándolo en seco.

En cuanto al empleo de los buzos, requiere una extremada vigilancia, pues como casi siempre su interés consiste en que las obras duren, y hasta les conviene que una crecida destruya lo hecho para que se vuelva á ejecutar, siendo su vigilancia difícil, no suelen desplegar gran actividad en su trabajo, y no es raro que se confabulen para no extraer sino una cantidad mínima de excavación, cuyo metro cúbico resulta así á 20, 30 y más pesetas.

Fundaciones sobre pilotes.— Cuando la capa sólida á que se quiere llegar se encuentra muy honda y se hace difícil, por lo

tanto, alcanzarla con una excavación, se suelen emplear pilotes de madera, hincados hasta el terreno incompresible.

Este procedimiento, muy generalizado en Francia sobre todo, presenta también muy serios inconvenientes.

En primer lugar, no parece lógico establecer una hermosa obra construída con materiales inalterables sobre una base que nada tiene de eterno.

Es más natural apoyar tramos de hierro y hasta de madera, sobre pilas de fábrica, que ejecutar la obra propiamente dicha, con carácter definitivo, sobre un apoyo que no puede ser duradero.

Los pilotes pueden ser socavados, y aunque se los defienda con escolleras ó zampeados, concluyen por podrirse ó por ser destruídos por el *teredo* ú otros gusanos roedores, si la obra se encuentra cerca del mar. El cimientó puede descender, ó por lo menos sufrir algún asiento, lo que arrastra, si no la ruina, por lo menos reparaciones costosas.

Se pueden reducir estos inconvenientes empleando pilotes metálicos, como más adelante indicaremos; pero siempre que sobre pilotes de madera ó de hierro se edifique una obra de piedra, consideramos que el conjunto resulta, si no irracional, por lo menos híbrido.

Fundaciones por el aire comprimido.—Por último, cuando la profundidad que es inenester alcanzar es excesiva, ó que el terreno que se debe atravesar es muy fluido, se recurre al aire comprimido, que permite llevar los tubos ó cajones hasta 30 metros de hincá, y que resuelve á completa satisfacción los casos más difíciles de cimentación.

Es evidente que este sistema es el más perfecto, porque es seguro é infalible, porque permite llegar á la profundidad que se quiera, porque, en fin, ejecutándose los hormigones en seco, se obtienen así todas las garantías de homogeneidad y resistencia de esta argamasa.

Pero también cuán costoso resulta cuando, no habiendo grandes volúmenes de fundación que ejecutar, hay que recargar el costo de la obra con todos los gastos de instalación y material, repartido en un pequeño número de metros cúbicos!

No se debe emplear, pues, este procedimiento sino en obras de gran importancia, sobre todo en países como el nuestro, y

aun más en Ultramar, donde es difícil que haya contratistas exclusivamente dedicados á esta clase de obras, que posean todo el material y personal adecuado al empleo del aire comprimido.

Y no creemos pecar de pesimistas al enumerar los inconvenientes de los sistemas de fundación generalmente adoptados, pues en nuestra corta carrera hemos tenido ocasión de observar todos ó casi todos los incidentes desfavorables que hemos apuntado, y muchos más pudieran enumerar los ingenieros de más larga práctica é ilustración mayor.

En verdad que parece que los ingenieros muchas veces se complacen en buscar las dificultades para conseguir la satisfacción de vencerlas, y por esto quizá se ven tantos puentes y viaductos con grandes luces ó tramos de 40 á 100 metros, apoyados sobre pilas cuya fundación, si es segura, representa un considerable capital.

Cierto que tales obras son hermosas y espléndidamente concebidas, pero cuestan caras.

Hoy, que puede decirse que se han logrado vencer las más arduas dificultades de construcción, el ingeniero no debería correr tras la vana satisfacción de triunfar (á peso de oro, es verdad) de un río cuyo lecho movedizo y fluido, cuya torrencial corriente parecía desafiar la pretensión de establecer en él una obra estable. El talento y la imaginación del ingeniero deben, nos parece, aplicarse sobre todo á construir *económico* y *sólido*, y por nuestra parte quedamos más satisfechos cuando resolvemos un problema de este género con elementos escasos y poco gasto que si recurriéramos á los medios heroicos del aire comprimido para establecer un cimiento en un río poco hospitalario.

El estudio de la reducción de los gastos de fundación tiene, por consiguiente, capital importancia.

A primera vista parecería ventajoso disminuir el número de las pilas de una obra, aumentando en consecuencia las luces de los arcos de piedra ó de los tramos de hierro, pero por desgracia el costo de la obra se aumenta aún en proporciones más considerables.

Cuando los arcos de piedra aumentan de luz, las presiones, y por ende el espesor de las bóvedas, crecen simultáneamente. Hay que emplear sillares más escogidos y de mayores dimensiones, cuya adquisición y mano de obra cuestan mucho más.

Las pilas tienen también que aumentar de volumen, y el de los cimientos sufre el incremento proporcional.

Por lo demás, cuando se trata de puentes para ferrocarriles económicos ó carreteras vecinales, que son las obras más corrientes hoy día, no debe pensarse en construir grandes puentes ó viaductos de fábrica sino en el caso poco probable de tener asegurado fundaciones fáciles y piedra próxima y abundante.

La madera tampoco debe emplearse sino en obras provisionales, pues ni resulta muy económico su empleo ni tampoco ofrece garantías de resistencia y duración. Si se ponen palizadas, quedan expuestas á las socavaciones al rededor de los pilotes, cuya hincas no puede llevarse muy lejos; si no hay apoyos intermedios, los tramos se pudren rápidamente, lo que no sólo constituye un peligro permanente, sino obliga á continuas y costosas reparaciones.

Es, pues, menester recurrir casi siempre al empleo del *hierro*.

Pero para que el empleo de este metal resulte económico es necesario que las luces sean pequeñas, y por ende que el número de apoyos sea crecido.

Sabemos, en efecto, que los pesos por metro lineal de las superestructuras de los puentes metálicos tienden á ser directamente proporcionales á las luces.

Para apreciar debidamente estos aumentos de peso, basta echar una ojeada sobre la tabla (anexo núm. 1) que tomamos de la excelente obra de Croizette-Desnoyers (1).

Se observa en ella que, para luces de 20, 40, 60, 80 metros, los pesos por metro superficial de puentes para carretera son respectivamente de 169, 289, 427, 575 kilogramos por metro cuadrado; que un puente, por ejemplo, de 100 metros de luz pesa casi diez veces lo que pesaría si se hubiere dividido en diez tramos de 10 metros. Al parecer resulta, pues, un círculo vicioso.

Por un lado hay ventaja en reducir los gastos de fundación, y por consiguiente el número de apoyos. Por lo que á la superestructura se refiere, conviene, por el contrario, disminuir las luces, aumentando el número de pilas.

Sólo cabe un medio de resolver esta paradoja.

Consiste en construir pilas muy económicas.

(1) *Traité de la construction des ponts*, por Mr. Croizette-Desnoyers.

El empleo de palizadas metálicas sobre pilotes de hierro puede exclusivamente resolver el problema.

Consideremos, en efecto, el caso que se presenta más generalmente en la práctica.

El camino, sea de hierro, sea ordinario (el problema es el mismo), atraviesa un río con una rasante que oscila entre 3 y 15 metros, rara vez superada, sobre todo en ferrocarriles económicos y carreteras de interés vecinal, cuyos trazados, más elásticos, permiten plegarse á las ondulaciones del terreno.

Pues bien, principalmente en estos casos, los pilotes metálicos presentan una indiscutible superioridad, porque permiten atravesar la mayor parte de las depresiones del terreno con obras muy económicas, y sin perjuicio de su estabilidad, resistencia y duración.

Mitchell, Stephenson y Brunel, en Inglaterra, preconizan este sistema desde el año 1840; Oppermann, Schneider y Eiffel, en Francia, lo recomiendan y emplean; D. Lucio del Valle, D. Rafael de Zafra, Echevarría, Aramburu y otros muchos ingenieros, en España, Italia y otros países, han utilizado con éxito los pilotes de rosca en multitud de puentes, viaductos, muelles y faros.

Vamos, pues, á describir las más interesantes aplicaciones de esta clase de obras metálicas, cuyos planos, todos en la misma escala de $1/200$, facilitarán la comparación, y deducir de su examen un resumen práctico que evidencie las soluciones más convenientes que pueden adoptarse en cada caso; pero como las palizadas y pilotes que les sirven de apoyo se encuentran en contacto continuado con las aguas dulces ó saladas, y que pudiera objetarse al sistema la rápida destrucción del hierro por la oxidación permanente, conviene ante todo que estudiemos todas las causas de destrucción de los puentes metálicos, esperando queden desvirtuados los temores, si no quiméricos, por lo menos muy exagerados, con que se ha querido atenuar la generalización, cada día mayor, de las obras metálicas.



CAPÍTULO II

DURACIÓN DE LAS OBRAS METÁLICAS

- § 1.—Causas de las caídas de los puentes de hierro.
- § 2.—Efectos de la oxidación en las obras metálicas.
- § 3.—Pinturas y enlucidos preservadores de la oxidación.
- § 4.—Aflojamiento de los roblones.
- § 5.—Modificaciones moleculares del metal de los puentes por efecto de las vibraciones.
- § 6.—Interferencias y tonalidad de las vibraciones.
- § 7.—Conclusiones.

§ 1.—Causas de las caídas de los puentes de hierro.

Es este asunto muy controvertido, y que durante muchos años influyó en el ánimo de los ingenieros, recelosos de que las obras metálicas sufrieran rápida destrucción, ya por la corrosión del hierro por las acciones atmosféricas, y sobre todo por el agua del mar, ya por un aflojamiento continuo y roturas sucesivas de los roblones, ó ya por una transformación molecular del metal, que al pasar de la textura fibrosa á la cristalina, efecto de las vibraciones producidas por el paso de cargas móviles, habría de perder toda su resistencia.

Verdad es que la prensa suele referir de vez en cuando la caída ó destrucción de algún gran puente de hierro, ocasionando espantosas catástrofes; pero no deben achacarse estos accidentes á las causas de destrucción antes apuntadas, sino á circunstancias á veces casuales é indeterminadas, ó á otras que pudieran haberse previsto.

No hablemos del terrible accidente del viaducto de Dundee sobre el Tay, en Escocia, á la sazón que pasaba un tren, y en el que perecieron ochenta personas, pues este siniestro fué causado por un vendaval de extraordinaria violencia; y para prevenir análogas catástrofes, desde entonces, en todos los grandes puen-

tes donde los efectos del viento pueden hacerse sensibles, se calculan sus piezas para resistir á un empuje transversal muy superior al causado por el más desencadenado huracán.

Del informe del eminente ingeniero Dupuit, publicado en los *Annales des Ponts et chaussées* de 1850, relativo á la caída del puente colgante de la Basse-Chaine, en Angers, se deduce que, si bien pudiera haber influido en dicho desastre la oxidación de los cables en los pozos, fué sobre todo debido al paso de 487 personas sobre el puente durante un violento huracán, lo que produjo en los cables una tensión doble de la correspondiente á las pruebas de reglamento.

Tampoco puede culpase exclusivamente á ninguna de las causas de destrucción que antes hemos enumerado las 251 caídas de puentes ocurridas en los Estados Unidos, en un período de diez años; desgracias que ocurrieron precisamente en el paso de los trenes, y que hubieran podido y debido evitarse, según se demuestra en una muy interesante Memoria inglesa, traducida y comentada por el ingeniero D. R. Llatas (1).

Las causas que han motivado tales catástrofes son:

1.^a Los graves defectos inherentes á las estructuras *articuladas*, denominadas generalmente *sistemas americanos*, sobre todo en sus aplicaciones á ferrocarriles, y que no reúnen condiciones para hacer frente á una perturbación de la carga móvil, posible en dicho servicio, y que por lo tanto debiera preverse, ni tampoco tienen elementos para dotarles de uniones transversales fuertes y rígidas.

2.^a El aumento progresivo de los pesos del material móvil y de tracción, sin que se hayan simultáneamente reforzado las piezas del puente. Baste recordar que la primera locomotora construída en América pesaba tres toneladas y media, con una carga de 875 kilogramos por rueda, habiéndose hoy día llegado á dar á estas cargas 12 y 14 toneladas por rueda, con el consiguiente aumento de resistencia y de peso en carriles, traviesas y demás elementos de la vía.

Para evitar análogos contingencias y peligros, todos los gobiernos, y muy recientemente el español, hanse preocupado de

(1) *Desastres en los puentes americanos*, Memoria presentada por el ingeniero americano Mr. Jorge Thomson, en la reunión de la Asociación Británica. Barcelona, 1889.

la cuestión, mandando revisar el estado de conservación y cálculos de los puentes de ferrocarriles construidos, con objeto de comprobar si pueden resistir las cargas cada día mayores á que se les van sometiendo.

3.^a El método comúnmente empleado para el cálculo de puentes de ferrocarriles aprecia tan solo el efecto de las cargas estáticas, sin tener en cuenta otros elementos importantes, como son el esfuerzo que resulta de la rápida aplicación de los frenos, del empleo del contravapor, etc., y en general de los que provienen de las oscilaciones y choques que comunica el material móvil en una vía más ó menos perfecta; perturbaciones que se amplifican extraordinariamente con la velocidad, efectos todos muy sensibles en puentes de grandes luces, y aun más en los articulados, que no tienen ni rigidez ni solidaridad.

4.^a Este mismo vicio en el método de cálculos impide tener en cuenta los choques producidos por un descarrilamiento, por una rotura de rueda ó de ejes en general, por accidentes debidos á una falta del material de las vías, que una buena administración podrá reducir, pero que en absoluto no podrá evitar; accidentes todos que producen desastrosos efectos en puentes articulados, que no tienen ni rigidez ni solidaridad suficiente para resistir esfuerzos tan imprevistos como violentos, mientras que en los puentes rígidos europeos han ocurrido accidentes de esta índole, sin que el descarrilamiento del tren acarree la ruina de la obra (*).

Por último, también se ha demostrado que la catástrofe ocurrida al paso de un tren que cayó en el río con el puente de Mönchenstein (Suiza), el 14 de junio de 1891, no ha sido debida á defectos inherentes al hierro, sino á multitud de circunstancias casuales. En nuestro reciente viaje á Suiza hemos podido obtener un gran número de datos sobre tan debatida cuestión, y hemos leído todos los voluminosos informes escritos por los ingenieros Ritter y Tetmajer, Zschokke y Seifert, Eiffel, Gaudard, Brækman, Rothlisberger y, por último, el de MMr. Collignon y Hauser, que por encargo del gobierno federal estudiaron los demás informes (algunos contradictorios) y emitieron juicio sobre ellos.

(*) En España recordamos los terribles descarrilamientos de los puentes de Viana y de Alcendia.

De la lectura de todos estos interesantes trabajos, que ni siquiera podemos extractar por su magnitud, puede, sin embargo, deducirse: que diez años antes de la caída del puente (el año 1881), una violenta crecida socavó y destruyó un ángulo de uno de los dos estribos, quedando el tramo, que tenía 42 metros de luz, apoyado sobre dos puntos; que aunque reparados con minuciosidad los desperfectos *aparentes* que pudieron encontrarse en el tramo, éste había sufrido, durante aquella violenta postura, alteraciones moleculares que quizá llegaron á superar el límite de elasticidad del metal; que aunque durante diez años seguidos siguieron los trenes pasando por aquel puente, sin que en él se manifestara señal alguna de peligro, no cabe dudar que la relajación sufrida en 1881 fué invadiendo poco á poco el metal, hasta que una serie de circunstancias fortuitas, favorecidas por la oblicuidad del puente, vinieron á concordar en el paso del último tren, produciendo su caída.

Como se ve, todos estos motivos son ajenos á los defectos atribuidos al metal, y cuyas causas de destrucción vamos á examinar.

§ 2.—Efectos de la oxidación de los hierros en las obras metálicas.

Extraño parece que un efecto químico tan conocido, y que tan grave importancia reviste en la conservación de los puentes de hierro, se encuentre hoy día tan poco precisado que, á pesar del muy considerable número de experiencias hechas desde hace muchos años por ingenieros y químicos eminentes, no sea posible deducir con certeza cuál de los tres metales, *fundición, hierro ó acero* es más oxidable, y qué pérdida anual de materia tiene cada uno bajo la acción del aire húmedo, del aire salado, del agua dulce ó del agua salada.

Multitud de experiencias se citan en muchas obras, entre otras en la del inspector y director de la Escuela de Caminos don Pedro Pérez de la Sala (1), y la mayor parte de ellas dan resultados contradictorios.

Es muy general la creencia, sobre todo entre los ingenieros ingleses, que el hierro fundido resiste mucho mejor que el hie-

(1) *Tratado de las construcciones en el mar*, 2.^a edición, Madrid, 1890, páginas 525 á 530.

rro forjado ó laminado á la acción corrosiva del agua salada, y en apoyo de esta predilección se citan experiencias de Grosbie-Danson y Mallet. Sin embargo, el resultado de las efectuadas por Rennie y Gruner parece demostrar lo contrario.

Por nuestra parte, hemos visto la barandilla de fundición de la terraza del palacio de la emperatriz en Biarritz, construida hace treinta años, completamente carcomida en algunos tramos y en otros casi intacta, sin razón apreciable de esta singular diferencia.

Verdad es que en algunos casos hanse visto columnas de fundición sumergidas en el mar cubrirse de musgos marinos que la preservan como un enlucido, pero igualmente pueden desarrrollarse en el hierro. Hay, sí, una diferencia entre ambos materiales: en la fundición, la parte oxidada compone una masa con el resto, al paso que en el hierro se forman hojas ó láminas que se desprenden, disminuyendo la masa del material, pero la destrucción es análoga en uno y otro caso.

Los ingenieros Andrews y Philips ensayaron comparativamente hierros y aceros, y aunque los resultados de las experiencias fueron algo favorables al hierro, Wright, ingeniero jefe del almirantazgo inglés, considera que, prácticamente, están de igual modo sujetos á la corrosión el hierro y el acero.

De los ensayos de Mallet, Parker y Gruner resulta que en el aire húmedo la fundición resiste mejor que el hierro y acero, no existiendo diferencia apreciable entre estos últimos.

En el agua del mar los efectos fueron diferentes, y también el resultado obtenido por esos tres ingenieros, pudiéndose solamente explicar estas anomalías por la mayor ó menor cantidad de manganeso, fósforo y otras impurezas que contienen los hierros en proporciones distintas, según sus procedencias y fabricaciones.

Hay que observar que, aun cuando la oxidación fuera la misma para el acero que en el hierro, como aquel material es algo más costoso y se emplea con menores secciones, la pérdida de resistencia sería más sensible. Así, por ejemplo, si se emplearan chapas de acero de 8 milímetros en lugar de palastros de hierro dulce de 12 milímetros, 2 milímetros de oxidación quitarían al acero 25 por 100 de su resistencia, mientras que el hierro sólo perdería 16 $\frac{1}{2}$ por 100.

Las pinturas y demás preservativos, en cambio, favorecen más

la conservación del acero que la del hierro. En este último, la oxidación puede penetrar entre las hojas ó fibras imperfectamente soldadas por el laminado, mientras que el acero, producto fundido, presenta más homogeneidad, y la corrosión sólo puede penetrar poco á poco y por capas sucesivas; hasta puede decirse que una primera capa de óxido envuelve al acero como un preservativo, análogamente á lo que ocurre con el zinc en contacto con el aire.

Parece, pues, y en resumen, que si bien la oxidación es más debilitante en el acero que en el hierro, el efecto de las pinturas y demás preservativos es más eficaz en el acero (1).

Podemos también añadir, como conclusiones de carácter general, que de las experiencias practicadas se aduce:

1.º La oxidación del hierro y sus compuestos es sobre todo sensible al aire libre impregnado de vapores salinos. Es menor la corrosión cuando estos metales están constantemente sumergidos en el agua del mar, y mucho menos intensa la oxidación debajo del agua dulce.

2.º Si bien la oxidación es inevitable y á veces muy rápida, cuando no están los metales preservados, todos los ingenieros que se han ocupado del asunto están conformes en que, convenientemente pintadas y enlucidas, las obras metálicas no sufren corrosiones sensibles, siendo entonces casi indiferente, desde el punto de vista de la oxidación, el empleo de la fundición, del hierro dulce y del acero.

No pudiera explicarse de otro modo el perfecto estado de conservación de tantas obras de hierro, construídas muchas de ellas con más de un siglo de existencia, y algunas, como los faros de Maplin-Sand y de Fletwood, expuestas desde hace cincuenta y cuatro años á los destructores efectos de las olas y vapores salinos.

Ultimamente, Sir William Arbol, que por ser uno de los constructores del famoso puente del Forth puede considerarse como una autoridad científica en la materia, ha expresado su opinión al *Councillor King*, de Glasgow, respecto á la duración que debe esperarse de los puentes de hierro, manifestando que depende enteramente de la manera como se cuiden y del material que

(1) *Emploi de l'acier dans les constructions*, por Edwig Matheson. *Revue Universelle des Mines*, tomo XIII, 1883, primer semestre, pág. 411.

se use para pintarlos, y que conservándolos como es debido deben tener una existencia ilimitada. En su informe cita tan reputado ingeniero numerosos puentes por él examinados, entre otros el de Hammersmith (Londres), que fué derribado, y cuyo material viejo adquirió para utilizarlo provisionalmente en la construcción del puente Forth; dicho puente prestó servicio durante sesenta y dos años, y muchas de sus partes no se habían pintado más que una vez, cuando se construyó todo él, porque no eran accesibles, á pesar de lo cual se encontraron perfectamente conservadas.

Idéntica opinión sostiene Mr. Comolti en su obra sobre los puentes americanos, citando varias obras antiguas en que no se observó oxidación sensible; y en definitiva, la historia de todas las obras metálicas construídas en este siglo, y que no manifiestan esas corrosiones tan temidas, evidencian que no constituye la oxidación un peligro, siempre y cuando se procure preservar el metal en aquellas partes expuestas á los efectos destructores de los agentes atmosféricos.

§ 3.—Pinturas y enlucidos preservadores de la oxidación.

Durante la construcción; la regla comúnmente seguida es de dar dos manos de imprimación de minio en los talleres y dos ó tres manos al óleo, siendo el mejor color el blanco de zinc, que se adhiere al metal y forma con él una aleación, pudiéndosele mezclar con un poco de azul y algo de negro, para conseguir una tonalidad gris clara, que es el de mejor aspecto y menos sucio que el blanco puro.

Estas pinturas deben renovarse cada cinco años, aplicando una buena mano general, después de haber cuidado de raspar y limpiar las partes que se encontraran oxidadas.

Como la eficacia de este procedimiento preservativo es de duración limitada, y resulta costoso si se renueva con prudente frecuencia, se han imaginado y propuesto infinitas recetas que se enumeran en los tratados de construcción, siendo el más eficaz de los enlucidos un barniz compuesto por óxido de cobre disuelto en una mezcla de pez y nafta.

También ha dado muy buen resultado un barniz de asfalto y pez mineral disueltos en nafta purificada, empleado en Cleveon; pero son en general procedimientos costosos y delicados de

aplicar. Así es que en el puente de Rivadesella hemos creído deber emplear otra mezcla más económica y ordinaria para los pilotes de fundición que habían de quedar constantemente sumergidos en el agua de mar.

Dice así el artículo correspondiente del pliego de condiciones facultativas de esta obra que citamos:

«Antes de proceder á la hinca de los pilotes, se limpiarán y desoxidarán perfectamente, sumergiéndolos entonces dentro de un recipiente conteniendo un betún asfáltico formado de 20 por 100 de asfalto de Seyssel, 30 por 100 de brea y 50 por 100 de arena fina bien lavada. Se dará á los tubos el número de baños necesario para que queden recubiertos de una capa de 5 milímetros de espesor en su punto más delgado.

»El resto del puente se pintará con las capas de minio y gris ordinariamente empleadas, menos el tablero, que, por no estar á la vista, habrá de pintarse con capas sucesivas de *galipot*».

Sin embargo, debemos aquí añadir que es muy posible que en breve se pueda aplicar de un modo corriente y económico un nuevo preservativo completamente eficaz, y que ha empezado á emplearse industrialmente gracias á los procedimientos inventados por los ingenieros ingleses MMr. Barf y Bower.

Consiste en tomar en el hierro mismo el elemento principal de su preservación, recubriéndolo con una capa de óxido negro magnético, obtenida por medio de una corriente de vapor recalentada á 700 grados sobre el hierro calentado al rojo cereza.

El óxido así obtenido forma cuerpo con el metal y lo preserva en absoluto de toda oxidación.

El sistema Bower-Barf (1), adoptado industrialmente por varias fábricas, entre otras por la *Société française d'Inoxydation*, en Grenelle, es susceptible ya de muy numerosas aplicaciones, tratándose por este procedimiento todos los objetos hasta ahora galvanizados; pero aun no se ha empleado para piezas de puentes, á causa de las dimensiones que sería menester dar á los hornos; mas no cabe dudar que á ello se tiende, siendo de esperar que en breve se pueda aplicar con éxito y economía, con lo que se obtendrá una garantía completa de invulnerabilidad á la oxidación.

(1) *Note sur les procédés Bower-Barf*, por el ingeniero D. Leopoldo Kirsch-
Revue Universelle des Mines, tomo XII, 1882, segundo semestre, pág. 608

§ 4. — Aflojamiento de los roblones.

Poco tenemos que añadir á lo que extractamos á seguida de la introducción del *Tratado de Puentes metálicos* de Resal (1), autor que es una autoridad científica en la materia y que en la citada introducción refuta también las supuestas causas de destrucción de las obras metálicas:

«Se ha supuesto que los roblones que enlazan entre sí los diversos elementos de un puente de hierro, estando sometidos á un esfuerzo de extensión excesivo, llegaban á cansarse y concluían fatalmente por aflojarse y romperse.

»Es indiscutible que, después del montaje definitivo de los puentes, se observa de cuando en cuando que algunos roblones se han aflojado y no aprietan los palastros, y hasta algunas veces se ven roblones cuyas cabezas han saltado. Cuando la conservación es buena, se sustituyen estas piezas en cuanto se observa su mal estado; pero de todas suertes, no llegando la proporción anual de los roblones defectuosos á 1/10.000 del número total, parece poco probable que este fenómeno sea debido á una transformación molecular del metal del roblón; si el roblón defectuoso hubiera sido desde un principio de buena calidad y perfectamente cosido, no se comprende cómo los roblones vecinos, que sufren exactamente las mismas causas de destrucción, pueden mantenerse en su primitivo estado. Es mucho más probable que el cosido de los palastros, ya sea mecánico, ya á brazo, presente irregularidades que en ciertos casos se manifiestan pronto: los roblones pueden haberse empleado ó muy fríos ó muy calientes; la compresión de sus cabezas puede ser ó excesiva ó insuficiente, y he aquí la explicación más natural de su aflojamiento ulterior y hasta de su rotura. En general, los defectos que presentan los roblones se reconocen durante el montaje y se efectúa inmediatamente su sustitución. Pero se concibe que, en un considerable número de piezas, pueda padecerse algún olvido en el examen, tanto más cuanto que éste se hace difícil en algunos casos y que los defectos no siempre son aparentes. Después de algunos años de servicio, las vibraciones producidas por el paso de los trenes ó de los carros acentúan los de-

(1) J. Resal, *Ponts métalliques*, tomo I. París, 1885.

fectos y se hacen éstos más visibles. Como por otra parte es necesario renovar la pintura cada cinco ó seis años, no es difícil entonces examinar el estado de los roblones y sustituir los que se reconozcan deficientes.

»Si se admitiera que los roblones de buen metal y bien cosidos fueran susceptibles de modificarse ó perder sus cualidades con el tiempo y las vibraciones, no pudiera explicarse cómo en ciertas obras, como el puente de Britannia, construído por Stephenson, se encuentren en perfecto estado después de cincuenta años de trabajosa existencia, cuando la mayoría de los roblones que enlazan sus elementos no pueden ser sustituidos por su especial emplazamiento. Aun suponiendo que algunos se hayan aflojado, es menester admitir que la mayor parte de ellos se mantienen intactos y sin alteración molecular».

Esta conclusión del eminente ingeniero Mr. Resal no debe evitar una minuciosa vigilancia en la construcción de los puentes de hierro, que en ciertas fábricas se hace indispensable, amén de los ensayos de resistencia á que los hierros empleados deben previamente someterse.

Algunos constructores, y hemos tenido ocasión de comprobarlo, fiándose de la excelente calidad del metal, descuidan singularmente la importante operación del roblonado; y por nuestra parte entendemos que es muy preferible una obra ejecutada con hierros resistiendo á 30 kilogramos por mm^2 , pero bien planos y esmeradamente cosidos, que otras ejecutadas con aceros de mayor resistencia, pero cuya construcción y roblonado se haga imperfectamente.

Si los palastros de las platabandas no son perfectamente planos; si los agujeros de los roblones no están matemáticamente trazados, ni se superponen los palastros exactamente, ni corresponden los agujeros, el cosido tiene que ser defectuoso, las fibras de los roblones se tuercen ó se rompen y el conjunto no trabajará ya como una pieza homogénea sino con grandes desigualdades, que contribuirán á una relajación continuada y progresiva de todos los elementos de la obra.

En la construcción de las máquinas de vapor se evitan estas faltas con singular cuidado, y la mayor parte de los agujeros para roblones se alisan después de presentadas las piezas que han de unirse, ajustándose los roblones ó tornillos con toda exactitud en estas cavidades perfectamente cilíndricas.

En puentes de hierro quizá no se pueda exigir tanta precisión, pero debe tenderse á ella y por lo menos cuidar de que la superposición de las piezas y el taladro de los agujeros sea lo más coincidente posible, puesto que en gran parte contribuyen estas precauciones á la duración y buen estado de conservación de las obras metálicas.

§ 5.—Modificaciones moleculares del metal de los puentes por efecto de las vibraciones.

A medida que van transcurriendo los años, y que van envejeciendo muchos puentes sometidos á continuas vibraciones, sin que parezcan resentirse en lo más mínimo de este trabajo dinámico, se comprueba cuán exagerado era el temor de que el metal, bajo la acción de las vibraciones, llegara á transformarse de fibroso en cristalino, perdiendo su resistencia y determinando en breve plazo la caída ó destrucción de los puentes de hierro.

Ahí están el puente de hierro fundido del *Carroussel* en París, construído en el año 1833, en el que todos los que hayan visitado la capital francesa pueden haber observado que sufre oscilaciones muy sensibles en cuanto sobre él circula el más ligero vehículo; el puente colgado sobre el Niágara, construído en 1855, cuyas vibraciones al paso de los trenes producen espanto, sin que en el reciente y escrupuloso examen de los alambres de sus cables haya podido descubrirse alteración alguna de su resistencia, y tantas otras obras americanas y europeas que, de ser ciertos aquellos temores, no hubieran podido resistir tanto tiempo á tan continuado trabajo.

No eran quiméricas, sin embargo, esas aprensiones; pero mal conocidas y analizadas las causas, se deducían de ciertos hechos conclusiones inexactas y desfavorables á la duración de los puentes de hierro. Estudiada la cuestión por Mr. Wæler, éste ha deducido las leyes que parecen regir la transformación molecular del hierro bajo la acción de cargas permanentes y dinámicas. Por su interés é importancia haremos, aunque sea muy ligera, indicación de dicho estudio.

Sometida una barra metálica á un esfuerzo de extensión permanente y constante, se rompía al cabo de cierto tiempo bajo la acción de una carga comprendida entre el límite de elasticidad y la carga de rotura. Si el esfuerzo variaba periódicamente, el

efecto de destrucción de las fibras era mayor, y si el trabajo del metal era alternativo, de compresión y extensión, el fenómeno se hacía más sensible. Por último, una carga dinámica, poniendo la pieza en estado de vibración, puede producir efectos más destructores que una carga estática del mismo peso.

A pesar de esto, aplicando las leyes de Wöler á los puentes metálicos existentes, afirma Resal en su citada obra que no son de temer modificaciones moleculares en el metal, pues el trabajo á que están sometidos los hierros no alcanza ni con mucho, aun bajo la influencia de las cargas dinámicas, el límite que pudiera afectar á la estructura del metal, siendo tanto menos sensibles los efectos de las vibraciones y de la variación de esfuerzos cuanto mayores sean las luces de los puentes, con lo que quedan desvirtuados los temores que antes existían.

§ 6.—Interferencias y tonalidad de las vibraciones.

Aquilatando aún más el estudio de las vibraciones en los puentes de hierro por el efecto de las cargas dinámicas, creemos interesante consignar aquí algunas ideas emitidas sobre el particular por nuestro eminente compañero D. José Echegaray, y por temor de desflorar la originalidad que campea en sus escritos, extractamos íntegros algunos de los conceptos contenidos en uno de sus artículos (1):

«Esta cuestión no es en el fondo más que el célebre problema de la *vibración de los cuerpos elásticos y de sus interferencias*.

»Para el caso, tanto da que la sustancia vibrante sea el éter engendrando la luz, como que sea el aire engendrando el sonido, como que sea una masa de forma determinada.

»Siempre tendremos un punto material que vibra, es decir, que ejecuta excursiones periódicas á un lado y á otro de su posición de equilibrio. Y si á esta pequeña masa que vibra llega otra nueva vibración, dos casos podrán presentarse:

»1.º Que la segunda vibración tienda á aumentar la primera; que sea concordante con ella; que amplifique la amplitud de la excursión. Y este es el caso en que *luz aumentada á luz da más luz*; en que un sonido interpuesto á otro sonido exagera su intensidad; en que la cresta de otra produce una ola de mayor tamaño; en

(1) *Los puentes metálicos*, Boletín de Obras públicas del 24 de abril de 1894.

que una partícula metálica de un puente que vibrando se había separado de su posición de equilibrio, se encuentra solicitada por otra vibración concordante con la primera, á separarse aún más del equilibrio. Y que esto se repita, en el último ejemplo, dos y diez y cien mil veces seguidas, y no es maravilla que la partícula metálica se aleje tanto de las partículas próximas que la cohesión quede rota en aquel punto y la materia destruída.

»2.º Puede suceder, por el contrario, que la nueva vibración que llega tienda á producir un movimiento igual y opuesto al primero, con lo cual la partícula quedará inmóvil. Y este es el caso de la interferencia, el de dos movimientos vibratorios que se destruyen en totalidad ó en parte. Es el caso en que *luz agregada á la luz da oscuridad*, teoría plenamente comprobada por la experiencia y en que se funda toda la óptica moderna. Es el caso, repetimos, en que *un sonido agregado á otro sonido produce el silencio*, y en que la cresta de una ola coincide con la depresión de otra, reduciendo en ese punto el agua á su nivel ordinario. Esto mismo puede suceder en un puente metálico cuando las vibraciones no son concordantes y al entrecruzarse se destruyen. Tiende la molécula metálica á dirigirse hacia la derecha, pero la nueva vibración que llega está en desacuerdo con la primera, y al impulsar á la partícula hacia la izquierda, ó anula ó aminora el alejamiento de esta partícula de su posición de equilibrio.

»Por eso se manda á la tropa que pasa por un puente metálico que rompa el paso, para que las vibraciones no sean concordantes; para que en vez de acumularse se destruyan unas con otras; en suma, para que se verifique el mayor número posible de interferencias.

»Pero aun hay que estudiar en los puentes metálicos otras muchas cuestiones interesantes.

»Cada puente metálico es como un instrumento musical, como un enorme diapasón que tiene su nota propia, que es lo que pudiéramos llamar su *nota crítica* ó su nota de peligro; y esta es la vibración ó, para decirlo de otro modo, la nota que debe evitarse en el tren que pasa por encima, vibración cuyo período dependerá de la velocidad del tren.

»Hay, pues, una velocidad peligrosa, más peligrosa que las velocidades mayores y que las velocidades menores, y es aquella que corresponde precisamente á la nota propia del puente».

Desgraciadamente, D. José Echegaray dejó para otra ocasión el desarrollo de esta originalísima tesis, digna de su privilegiada inteligencia.

El hecho de la nota del puente es positivo, no ya en el sentido científico indicado por el Sr. Echegaray, sino en el sentido musical, y todo el que tenga el oído sensible distinguirá los acordes más ó menos armoniosos producidos por el paso de los trenes en esas colosales guitarras que se llaman puentes de hierro.

Para confirmar este aserto, que lanzado por mí pudiera quizás parecer á algunos escépticos burlones un exceso de lirismo musical, acudiremos á la autoridad de los ingenieros MMr. Collignon y Hauser, que en su informe sobre la catástrofe del puente de Mœnchenstein, de que hemos antes hablado, dan gran importancia á la declaración de uno de los fogoneros que cayeron con el puente, y que manifestó que había observado que dicho puente daba al paso de los trenes un *tono* distinto y más alto que los demás puentes; y comentan este detalle tan distinguidos ingenieros añadiendo: «Lo que se ha manifestado sobre el *tono* del puente de Mœnchenstein en el paso de los trenes es exacto; cada obra metálica de alguna importancia suena de un modo particular cuando pasan los trenes; cada puente de cierta longitud tiene su tonalidad característica. Esto prueba la inteligencia del declarante».

§ 7. — Conclusiones.

Hay que confesar, sin embargo, que todas estas interesantes cuestiones de interferencias y tonalidad de los puentes no han sido estudiadas de un modo preciso, aunque pudieran algún día introducir en el cálculo de los puentes metálicos importantes modificaciones en beneficio de su ligereza.

Pero mientras no queden desentrañados tan curiosos fenómenos y sometidos al yugo de fórmulas concretas, débese procurar que los elementos de los puentes metálicos resistan á esfuerzos muy superiores á los que puedan entrar en el cálculo, en el estado actual de la ciencia.

La práctica parece demostrar que, adoptando un coeficiente de seguridad igual á 6, es decir, haciendo trabajar el metal bajo la acción de las cargas de prueba máximas, áun esfuerzo seis veces menor que el de la carga de rotura, no son de temer nin-

guno de los efectos dinámicos que hemos examinado, que ni siquiera llegan á alcanzar la elasticidad de los metales.

Con este coeficiente se obtienen ya considerables economías en los puentes y demás obras metálicas. Con el sistema actual de cálculo se han determinado las dimensiones del sinnúmero de puentes que en todo el globo existen, y esas obras prestan excelentes servicios, sin que se note en ellas debilidad ni cansancio.

Esto debe bastar para tranquilizarnos.

En último caso, y aun admitiendo que la duración de los puentes de hierro no puede ser tan ilimitada como la de las obras de fábrica, puede asegurarse que una obra metálica bien estudiada, sujetando el cálculo de sus elementos á las teorías que hoy se admiten, y construída con buenos materiales y gran esmero, puede y debe durar más de un siglo, edad que pronto alcanzarán muchas obras.

Aunque sólo se obtenga en la construcción una economía de un 20 por 100 con relación á una obra de fábrica (economía que es mucho mayor casi siempre), esta economía, capitalizada á interés compuesto, permitirá volver á construir la obra al cabo de cuarenta años, aun teniendo en cuenta el costo de la conservación.

Por último, la generación actual ha trabajado y gastado bastante para las venideras; no debe preocuparse tanto de legarles todo eterno, tanto más cuanto que el continuado progreso de los medios industriales de construcción y de transporte permite vislumbrar, para un plazo no remoto, transcendentales innovaciones que pueden modificar por completo las disposiciones y resistencia de los puentes y viaductos.



CAPÍTULO III

RESEÑA HISTÓRICA DE LOS PILOTES DE ROSCA Y DE SUS MÁS IMPORTANTES APLICACIONES

Invención de la rosca Mitchell.—Su primera aplicación para amarras de boyas.— Principales aplicaciones hasta el año 1855 en Inglaterra y América.—Obras sobre pilotes de rosca construidas en Bélgica, Prusia, Rumania, América, Portugal, Francia, Italia, Suiza y España.

De todos los sistemas de pilotes metálicos que luego examinaremos, el pilote de rosca es sin duda alguna el más ingenioso, el más útil y más frecuentemente aplicado.

Su invención es la que ha abierto esta nueva senda y todas las modificaciones que hoy día se encuentran: pilotes de plataforma, de hélice, etc., son meras consecuencias de la rosca Mitchell.

Seguiremos, pues, la historia de este invento, que nos permitirá examinar rápidamente los progresos que ha realizado y las importantes aplicaciones que se han deducido en la construcción de puentes, viaductos, muelles y faros.

Durante mucho tiempo, los pilotes de rosca se han denominado roscas Mitchell, por haber sido inventados por este ingeniero inglés, que durante bastantes años pregonó su empleo.

La primera aplicación que se hizo de la rosca Mitchell fué la de servir de amarra para las boyas del puerto de Belfast, donde nació el inventor, en sustitución de los cuerpos muertos que se usaban exclusivamente entonces.

Se establecieron estas roscas el año 1833.

Consistían sencillamente en una aplicación del tornillo reducido á algunas espiras, que se introducían en el terreno del mismo modo que se introducían en la madera: por rotación.

Se pudo de este modo, con pequeño esfuerzo, hincar en la mayor parte de los terrenos y á profundidades bastante grandes, sin dislocar las capas atravesadas, anchos discos circulares y

helizoidales que oponían extraordinaria resistencia á la tracción, y se empleaban con éxito para sujetar las boyas, valizas y otros cuerpos flotantes.

Si en vez de ejercer un esfuerzo de tracción sobre el tornillo se acciona por compresión, la resistencia que opone la rosca es aún mayor. De aquí á fijar sobre ese tornillo pilotes huecos ó llenos, de madera ó metal, que sobresalgan del terreno hasta la altura deseada, y apoyar sobre ellos cualquier clase de construcción, sólo había un paso, y Mr. Mitchell fué también el que lo dió, proyectando el año 1838 el faro de Maplin-Sand (lám. XII, figura 1), que fué aprobado por la corporación de Trinity-house, previo favorable informe de su ingeniero Mr. Walker.

La fundación de este faro, primera obra construída sobre pilotes de rosca, principió en agosto de 1838; pero habiéndose interrumpido los trabajos durante dos años con objeto de experimentar la resistencia de los pilotes, sólo pudo encenderse por primera vez el 6 de junio de 1840.

Desde entonces se amortiguaron los recelos que siempre acogen todo invento, y MMr. Mitchell, padre é hijo, extendieron las aplicaciones de su sistema de fundación en un gran número de obras.

El año 1855 se habían usado los pilotes de rosca en las obras siguientes de Inglaterra, sus colonias y América:

Amarras de las boyas en los puertos de Belfast (1833), Greenock, Glasgow, (1835), Newcastle (1846), y en 30 puertos más de Inglaterra y otros países.

Valizas de los bancos de arena de Kisbank, cerca de la bahía de Dublín (1843); Arklow-Bank y Blackwater-Bank, en la costa oriental de Irlanda (1846), y Tongue Sand, en la desembocadura del Támesis (1846), etc.

Faros construídos en los puntos siguientes: Maplin-Sand (1840) (lám. XII, fig. 1); Fleetwood-on-Wire (1840); Belfast Lough (1844); Dundalk, bahía y puerto (1849); Brandywine-Bank, en Delaware (1850); Spit Bank (lám. XII, fig. 2), en el puerto de Cork (1851); Sand-Key, en la Florida (América del Norte), fundado sobre un banco de coral, en la entrada del puerto de Key-West (1852).

De 1852 á 1855, tres faros en la bahía de Galveston (Estados Unidos); faro de Morecambe (mar de Irlanda); faro de Gunfleet, á 25 kilómetros de Harwich.

Obras marítimas. — Muelle de Courtown en Wexford, Irlanda (lámina VIII, fig. 1), construido en 1847. Rompeolas de Portland, compuesto por dos muelles, de 1.800 metros uno de ellos y 450 el otro, obras inauguradas en 1849 por el príncipe Alberto.

De 1852 á 1855, muelle de 180 metros en Porto-España (isla de la Trinidad); muelle de Víctor Bay (Panamá); muelles de Margate, Adelaida (Australia), Kingstown (Jamaica), isla de Java, etcétera.

Puente acueducto de Well-Creek (1849); muelles de Lincoln (Great Northern-Railway); telégrafo sobre postes pilotes de Calcuta á Madras, á Bombay, etc. (400.000 postes de rosca).

En la Exposición universal de París del año 1855 se observaba en la sección inglesa una numerosa colección de pilotes de rosca, y dos modelos de faros construídos por los fabricantes Walker, Burges y Cooper.

Todas estas obras, cuya edad pasa de cuarenta años, se encuentran hoy prestando servicio y en buen estado de conservación. ¿No es ya la mejor prueba de las excelentes condiciones del sistema? Además, la mayor parte de ellas se encuentran sometidas á la acción corrosiva de las aguas de mar, á fuertes oleajes, á los vapores salinos, tan destructores como el agua salada, á continuas vibraciones por efecto de los vendavales; y la respetable edad que han alcanzado, sin alteración sensible en su resistencia, es también la prueba más fehaciente de que deben disiparse toda clase de inquietudes, si por acaso aun existieran en el ánimo de alguno, respecto á la efímera duración de las obras de hierro.

Entre otras obras notables, construídas después de 1855 en Inglaterra, Bélgica, Prusia y Rumania, deben citarse: el puente de Chepstow, construido por el eminente ingeniero Brunel sobre tubos de fundición con roscas exteriores; algunos puentes del ferrocarril de la Prusia occidental, el de Königsberg entre otros; un puente de acceso á una de las fortalezas de Amberes; el puente de Néstor para el ferrocarril de Bukarest á Guirgewo (Rumania), y varios puentes para carreteras en este mismo país.

Los ingenieros ingleses han construído numerosísimos puentes sobre pilotes de rosca en todas las colonias, entre los cuales merecen citarse más de 10 kilómetros de puentes, construídos en la India inglesa, del modelo que describimos al ocuparnos del viaducto de Taptee (cap. V, lám. IV). También deben in-

cluirse entre estas obras los dos viaductos de Kent y Leven, construidos sobre el banco de arena de la bahía de Marecombe y apoyados sobre pilotes de plataforma hincados por inyección de agua, proyecto debido al citado ingeniero Brunel (lám. IV).

Aplicaciones en América.— En el nuevo continente no podía menos de adoptarse el nuevo sistema, y en su obra sobre los ferrocarriles americanos (1), los ingenieros MMr. Lavoinne y Pontzen citan las compañías de ferrocarriles de American-Bridge y Phenix-Ville como habiendo empleado con éxito los pilotes de rosca en muchos de sus puentes.

Por nuestra parte describiremos más adelante las obras siguientes: el puente de Landung, cerca de Lewes (Estados Unidos), y el construido en el mismo país sobre el río Mobile; el puente de la Viña del Mar (Chile), el viaducto de la Guaíra (Venezuela), cuyos planos se presentan en la lámina IV, y el puente sobre la Sao-González (Brasil).

También se han construido en ambas Américas multitud de faros y muelles, entre los cuales describiremos más tarde el de Valparaíso (lám. VIII) y el construido en la desembocadura del río Delaware; los faros de Minot's Ledge y Timble Shoal (Estados Unidos), el de la Trinidad (Golfo de Méjico), etc.

Aplicaciones en Portugal. — En el vecino reino se han construido varias obras sobre pilotes de rosca, de las que describiremos las siguientes (láms. I y V):

Viaducto de Santarem sobre el Tajo; puente sobre el río Marateca; puente sobre el canal Azambuja; puente para el tranvía de Lezo, cerca de Oporto.

Aplicaciones en Francia.—No se ha extendido en este país como mereciera el sistema de los pilotes de rosca. Sin embargo, el faro de Walde (Pas-de-Calais), cuyo modelo hemos visto en el museo del Louvre de París (lám. XII), está apoyado sobre pilotes Mitchell, así como otro faro, el de l'Enfant-Perdu (Guyana francesa), también construido por el Estado. Las casas Eiffel y Thomas & Foucart han construido algunos puentes para caminos vecinales; pero es sobre todo en las colonias francesas donde se

(1) *Les chemins de fer en Amerique*, por MMr. Lavoinne y Pontzen, tomo I, página 288. París, 1880.

ha aplicado con éxito, habiéndose ejecutado más de seis kilómetros de estos puentes en Cochinchina, el Tonkín y la Argelia, entre otros el notable de Saigón (lám. I) y el de l'Oued-Cheliff en Argelia. En la India francesa (Pondichery) y en las colonias africanas del Senegal, el gobierno ha establecido algunos muelles de avance, parecidos al construido por el gobierno belga para el Congo (lám. VIII), que permiten el atraque y desembarco en aquellas playas, en que la marejada trabaja siempre con furiosa violencia.

El ingeniero Mr. Grange, que ha publicado mientras preparábamos esta obra un interesante estudio sobre pilotes metálicos, ha aplicado con gran éxito este sistema, en sustitución de los grandes tubos de fundición, para fundar las pilas del viaducto de Vouneuil-sur-Vienne, y se muestra resuelto partidario de los pilotes de rosca para multitud de casos en que hasta ahora se han aplicado otros procedimientos de cimentación.

La misma tesis viene sosteniendo Mr. Oppermann en su revista *Les Annales de la Construction*, y es de esperar que en el vecino país entren de lleno en el camino de las obras económicas, ya que hasta en el día los ingenieros franceses parecen haberse preocupado poco del costo de las obras.

Sin embargo, muy recientemente la Compañía de los ferrocarriles del Sur de Francia ha construido varios puentes sobre pilotes de rosca, y el ingeniero Claudel, en su *Aide-Memoire* (1), cita la feliz aplicación de los pilotes de rosca en varios puentes y viaductos del ferrocarril del Oeste.

Aplicaciones en Italia.—En cambio, los ingenieros italianos hace tiempo que han aplicado los pilotes de rosca en multitud de puentes para carreteras y ferrocarriles, y aunque alguna de estas obras (el puente Aleardi sobre el Adige, en Verona) fué destruída por una crecida extraordinaria que rompió sus pilotes, se ha vuelto á construir este puente por el mismo sistema, según luego detallaremos, y se han ejecutado otros muchos de que nos ocuparemos, de los que merecen citarse los de carreteras siguientes:

Los puentes Aleardi (Verona), Umberto y Garibaldi, también en Verona; Zevio, Albaredo y Pescantino, todos ellos sobre el

(1) *Aide-Memoire de Claudel*, octava edición. pág. 1446.

río Adige; los puentes sobre el Brenta en Vigonovo y Curtarolo (lámina II), sobre el Bacchiglione en Tencanola, sobre el Arno en Florencia, otro en Pisa, etc.

Para ferrocarriles también se han construído muchos, entre otros para las líneas de Tarento á Reggio (Calabria) y Rieti á Terni.

En fin, el ingeniero milanés Mr. Lauro Pozzi ha inventado recientemente un sistema de pilote de hélice, hincado por percusión, del que nos ocuparemos detenidamente, y que ha tenido ya varias felices aplicaciones, entre otras ocho puentes construídos por el Estado sobre el canal de Burana.

Aplicaciones en España.—Nuestro país fué uno de los primeros de Europa en prohibir el invento de Mitchell, y para estudiar sus resultados el gobierno comisionó á Inglaterra al inspector de caminos, canales y puertos D. Lucio del Valle, el que á su regreso no vaciló en proponer las roscas Mitchell para amarrar parte de las boyas de los puertos de Santander, Cádiz y Valencia, y en proyectar los tres faros de la desembocadura del Ebro, de Buda, la Baña y el Fangar (lám. XIII), apoyándolos sobre pilotes de rosca. El primero de estos faros, construído en 1862, es indiscutiblemente el modelo de faro más atrevido y elegante que se ha proyectado hasta el día.

Los muelles y embarcaderos sobre pilotes de rosca, construídos en España, son muy numerosos; bástenos citar los de los puertos de Huelva (en que hay varios muelles de este sistema), la Coruña, Villagarcía, Carril, Bayona, Mayagüez (Puerto Rico), Vigo y Bilbao, en cuya extremidad se ha establecido una casilla y torre de señales también apoyada sobre pilotes de rosca. En las láminas IX, X y XI presentamos dibujos de casi todas estas obras. Como puentes, hay también varios notables ejemplos.

Si bien el primer ensayo que se hizo en el puente de Porto (Asturias) fué desgraciado, en cambio el inspector D. José de Echevarría proyectó y construyó en Guipúzcoa, sobre los ríos Irubide y Urola, cerca de Zumaya, dos puentes para carreteras (lám. III), y en la misma lámina presentamos el proyectado por el distinguido ingeniero D. Rafael de Zafra (q. e. p. d.), construído sobre el río de las Piedras (Huelva).

El ingeniero Sr. D. Manuel de Aramburu construyó á su vez para el ferrocarril de Tarragona, Barcelona y Francia el puen-

te que se representa en la lámina V, que es uno de los modelos más sencillos que se hayan proyectado; hay también algunos otros pequeños puentes para ferrocarriles económicos, como, por ejemplo, en el ferrocarril de Gerona á San Feliu de Guixols (vía de 0^m,75), y se está procediendo á la construcción de un puente de 300 metros sobre 17 palizadas, con pilotes de rosca (lámina VII), en Rivadesella (Asturias), cuyo proyecto, redactado por el autor de este libro, nos obligó á estudiar más detenidamente esta clase de obras.

Se acaba de replantear también otro puente de 200 metros sobre la ría del Burgo, en la Coruña, que describimos en el capítulo siguiente.

Por último, los ingenieros Sres. Peyronceli (puente de Cieza) y Canalejas han proyectado también dos puentes para carreteras sobre pilotes de rosca, que quizá se construyan en breve plazo.

Vese, pues, confirmado por esta rápida exposición de las obras construidas en España, cuánta razón teníamos al asegurar que, por lo que á este novísimo ramo de la ingeniería afecta, España presenta muy variados é interesantes ejemplos, dignos de ser imitados.

Quizá hayamos sido demasiado prolijos al enumerar las principales obras sobre palizadas y pilotes metálicos construidas en todos los países; pero hemos querido evidenciar cuán universal ha sido ya el empleo de este sistema, y el considerable número de aplicaciones importantes que ha recibido la rosca Mitchell.

Además, del examen de estas obras se desprende desde luego que, no sólo las obras construidas sobre pilotes de rosca resisten perfectamente la acción del tiempo y demás causas de destrucción, sino que su empleo ha sido preconizado por ingenieros eminentes de todos los países y aplicado con éxito por reputadas fábricas.

Describiremos ahora las obras más interesantes, para deducir de su estudio las conclusiones que su comparación ponga de manifiesto.

CAPÍTULO IV

PUENTES DE CARRERAS

Puente de Saigón.—Viaducto de Santarem.—Puente sobre el río Marateca.—Puente sobre el canal Azambuja.—Puente Aleardi, de Verona.—Puente nuevo Aleardi, en Verona.—Puente sobre el Adige, en Zevio.—Puente sobre el Brenta, en Curtarolo.—Puente Garibaldi, en Verona.—Puente Umberto, en Verona.—Puente de Albaredo.—Puente de Pescantino.—Puente sobre el Arno, en Florencia.—Puente sobre el Bacchiglione, en Tencarola.—Puentes sobre el Brenta, en Vigonovo y Strá.—Puentes en Ginebra (Suiza).—Puentes en Rumania.—Puente de Porto, sobre el río Eo (Asturias).—Puente sobre el río de las Piedras (Huelva).—Puentes de Zumaya (Guipúzcoa), sobre los ríos Irubide y Urola.—Puente sobre la ría del Burgo (Coruña).

Puente de Saigón (Cochinchina) (lám. I, figs. 1 y 2).—Este puente, construido el año 1869 por la fábrica francesa de Schneider & Cie. (Le Creusot), atraviesa el arroyo de l'Avalanche en la capital de la colonia francesa de Cochinchina.

Se compone de seis tramos de 15 metros cada uno, lo que da una luz total de 90 metros entre los estribos extremos, que son de fábrica.

El piso es superior, lo que permite constituir los tramos con tres vigas separadas solamente de 2^m,20. Sobre estas vigas van colocadas las viguetas, que sobresalen lo necesario para obtener un ancho de 6 metros entre barandillas, resultando los andenes en voladizo.

Cada una de las vigas principales se apoya sobre un pilote vertical, que más bien es una columna, formada por un tubo de hierro fundido, con 0^m,30 de diámetro en la base, que va disminuyendo hasta el vértice, donde tiene 0^m,26.

Estos pilotes, que se describen en el capítulo IX y se representan en la lámina XVI, figura 1, se terminan en su base por una rosca de fundición, y en su parte superior por un capitel de fundición que aumenta la superficie de apoyo.

Hincados los tres pilotes de cada palizada, por medio de ca-

brestantes movidos á brazo, se arriostran con tirantes horizontales y cruces de San Andrés, cuya tensión se gradúa con tornillos de presión. Para impedir que el agua penetre en los tubos, se los rellena con hormigón hidráulico.

El peso se distribuye del modo siguiente:

Hierro laminado.	155.000 kilogramos.
— fundido.	41.000 —
Total.	196.000

Resulta, pues, un peso de 2.177 kilogramos por metro lineal de puente, incluso palizadas, y de 363 kilogramos por metro superficial de puente (1).

PUENTES EN PORTUGAL

Viaducto de Santarem (Portugal) (lám. I, figs. 3 y 4).—La misma fábrica del Creusot ha construido en el año 1880, y por encargo del gobierno portugués, un gran viaducto de 570 metros de longitud sobre el río Duero, del que presentamos la disposición general y sección transversal.

En esta obra el piso es de los llamados intermedios, y los tramos sólo están constituidos por dos vigas principales en celosía. Viguetas de altura parabólica sostienen las placas bombeadas del piso, y sobre las cabezas de las vigas y en voladizo van los andenes laterales.

Los tramos son independientes y tienen 15 metros de longitud todos ellos.

Cada viga se apoya sobre una sola columna de hierro fundido, cuyos trozos se unen entre sí del mismo modo que los pilotes del puente de Saigón, con bridas y tornillos; pero el diámetro de estos tubos es mayor, pues tienen 0^m,50 en la base y 0^m,45 en su punto superior.

El último tubo inferior, que tiene 5 metros de longitud, se termina con una rosca de paso muy corto y diámetro grande (1^m,40), pues el terreno en que están hincados los pilotes es de arena fina, y como en cada palizada hay sólo dos pilotes para

(1) Pueden verse los detalles de este puente en el tomo del año 1879 de la *Revista de Obras públicas*, 5 en *Les Annales de la construction de Oppermann*, del mismo año.

sostener el puente, necesitan tener aquéllos amplia base de sustentación.

En la lámina XVI representamos los detalles de estos tubos.

El tubo superior, que se prolonga hasta la cabeza superior de las vigas, lleva á la altura de la cabeza inferior de éstas dos ménsulas fundidas con el tubo, que sirven de apoyo á las vigas.

Las dos columnas de cada palizada se arriostran entre sí por medio de cruces de San Andrés, y se completa la rigidez de la palizada con jabalcones oblicuos que se unen á dos pilotes de refuerzo de la misma forma, pero de menor diámetro que los de las columnas centrales, sirviendo de tajamares estos pilotes y jabalcones.

Las roscas de los pilotes se enchufan en el último tubo, del mismo modo que las del puente de Saigón, y como en éste se rellenan todos los tubos con el hormigón hidráulico.

El peso de esta importante obra es de:

Hierro laminado.	755,000	kilogramos.
— fundido.	545,000	—
Total.	1,300,000	

lo que hace resultar:

Peso por metro lineal de puente.	2,280	kilogramos.
— superficial.	380	—

Puente sobre el río Marateca (Portugal) (lám. I).—La longitud total de esta obra es de 104^m,70, dividida en 5 tramos: tres centrales de 22^m,50 de longitud y los dos extremos de 18^m,60.

Los tramos están formados por dos vigas en doble T de 2^m,25 de altura, divididas en cuadrados de este mismo ancho. La celosía está constituida por montantes verticales y cruces de San Andrés.

El tablero, cuyos detalles pueden examinarse en la lám. XIX, es inferior, y está formado por viguetas á 4^m,50 de distancia y 5 larguerillos, y sostienen los palastros ondulados para el firme y las placas estriadas para los andenes.

En las palizadas se ha adoptado un sistema particular, que se detalla en la citada lámina. Cada viga principal se apoya sobre un grupo de tres pilotes-tubos de hierro fundido de 0^m,30 de diámetro, situados en triángulo equilátero de un metro de lado. Estos tubos, que terminan con cabezas de sección cuadrada fun-

didas á la vez, se unen entre sí con varios hierros y angulares que constituyen una mesa, sobre la que se apoya la placa de los rodillos de dilatación de las vigas.

Para sujetar bien los dos prismas triangulares que corresponden á cada viga, se arriestra el conjunto con una vigueta armada.

Los tubos, que tienen una longitud de 9 metros, están formados por varios trozos que se enchufan unos á otros. El trozo inferior lleva una rosca de 0^m,80 diámetro y un borde recortado como una sierra.

Este puente, construido en 1884 por la fábrica belga de Valentín y comp.^a, cuyos talleres están en Willebroeck, se sometió después de construido á las pruebas siguientes: carga estática de 400 kilogramos por metro cuadrado en la parte destinada á vehículos y de 360 kilogramos en los andenes; la carga dinámica consistió en un carro de 12 toneladas con 4 ruedas. El coeficiente de trabajo de los hierros no excedió de 6 kilogramos por metro cuadrado.

El peso de toda la obra metálica se distribuye del modo siguiente:

	Hierro.	Fundición.	Totales.
Tramos.	140.000	1.500	141.500
Palizadas.	4.200	44.000	48.200
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
Kilogramos.	144.200	45.500	189.700

lo que hace resultar:

Peso por metro lineal de puente.	1.818 kilogramos
— superficial.	269 —

Puente sobre el canal Azambuja (láms. I y XX).—Esta obra, construida en 1891 por la misma fábrica antes citada de Valentín y comp.^a (Willebroeck, Bélgica), tiene sus palizadas constituidas de igual manera que el puente que acabamos de describir, con largos tubos de hierro fundido que alcanzan en algunos puntos 25 metros de longitud; pero difiere en algunos detalles que pasamos á enumerar, y cuyos dibujos se presentan en la lámina XX.

El puente está dividido en 5 partes, independientes entre sí.

Los dos estribos, que primeramente se habían proyectado de fábrica, se construyeron sobre dos palizadas: una de ellas enterrada en el terraplén, compuesta por 4 pilotes en un plano; la segunda, formada por dos grupos de 4 pilotes. Sobre estas dos palizadas se apoya un pequeño tramo de 6^m,50.

Sobre la segunda palizada y de cada lado del canal se apoya el extremo del puente propiamente dicho, que tiene un tramo de 30^m,15 y sobresale en el centro del canal y en voladizo 5 metros de longitud. La tercera palizada consta de 6 pilotes en dos grupos de tres, análogamente dispuestos á los del puente sobre el río Marateca.

Finalmente, los dos puentes, completamente iguales en uno y otro lado del canal, están unidos por un puente levadizo de 5 metros de luz que se levanta por medio de un pescante de hierro cada vez que un barco de vela necesita pasar por el canal.

Los tubos se han formado con trozos de 2^m,948 de longitud, que se empalmaban á medida de la hinca. El tubo extremo llevaba la rosca de fundición (véase lám. XX, fig. 5).

Esta obra, con un coeficiente máximo de trabajo de 6 kilogramos, ha resistido á las pruebas siguientes:

Prueba estática: 300 kilogramos por metro cuadrado.

Prueba dinámica: un carro de 16 toneladas sobre 4 ruedas.

Su peso se distribuye del modo siguiente:

	Hierro laminado.	Hierro fundido.	Totales.
Tramos.	115,000	1,800	116,800
Palizadas.	11,500	125,000	136,500
Total kilogramos.	126,500	126,800	253,300

lo que hace resultar:

Peso por metro lineal de puente.	2,833 kilogramos.
— superficial.	524 —

que son superiores á los de los puentes anteriormente descritos; pero débese tener en cuenta las condiciones especiales del tramo central, la supresión de los estribos de fábrica y la gran altura de los pilotes.

PUNTES EN ITALIA

Puente Aleardi, en Verona (Italia) (lám. II, figs. 1 y 2).—Sobre el río Adige, en Verona, se construyó sobre pilotes de rosca un

puede de 95^m,60 de longitud, denominado puente Aleardi, que fué destruido por una extraordinaria crecida ocurrida el 17 de septiembre de 1882.

Creemos, sin embargo, interesante dar algunos datos sobre esta desgraciada obra, cuyos detalles figuran en el *Tratado de Puentes* de Chicchi (1), porque pondremos así de manifiesto los defectos que motivaron su ruina.

Estaba el puente dividido en tres tramos centrales de 20 metros de luz cada uno y dos tramos laterales de 16^m,816.

Cada palizada estaba sencillamente constituida por dos pilotes (fig. 2) arriostrados entre sí por una cruz de San Andrés y dos tirantes horizontales de hierros en ángulo.

Los pilotes (lám. XV, fig. 1) eran de hierro forjado, redondos, de 0^m,180 de diámetro, y terminaban con una rosca cónica de fundición de 0^m,70 de diámetro.

El piso estaba constituido por viguetas inferiores, sobre las que se apoyaban palastros ondulados que sostenían el firme, que tenía un ancho de 5^m,25. Por último, dos andenes en voladizo de 1^m,40 de ancho estaban reservados á los peatones.

Aunque la destrucción del puente que acabamos de describir pudiera haber sido motivo suficiente para que se hubiera desechado el sistema de fundación por pilotes de rosca, en el nuevo puente que hubo que construir en sustitución del caído se resolvió construirlo de igual manera, si bien salvando las deficiencias que habían sido causa de la destrucción del primer puente.

Efectivamente, del examen detenido de este último, después de su caída, se evidenciaron los siguientes defectos:

1.º Estando cada palizada constituida solamente por dos pilotes, éstos recibieron directamente el choque de los cuerpos flotantes arrastrados por la crecida.

2.º Estos choques determinaron una gran flexión en uno de los pilotes, que se transmitió al manguito de unión de los dos trozos que constituían el pilote, y como aquel manguito estaba á su vez constituido por dos pequeños tubos cilíndricos de hierro fundido, con dos bridas salientes que se unían con pernos, la flexión de los pilotes produjo una muy fuerte compresión de la brida superior sobre la inferior, mientras que por el otro lado

(1) *Corso teorico pratico sulla costruzione dei ponti metallici*, por el ingeniero doctor Chicchi. Padova, 1886 (tavola 29).

la brida superior ejerció un considerable esfuerzo de tensión sobre el perno. El manguito, que por ser de fundición resistía mal á esta clase de esfuerzos, se rompió, soltándose la parte superior del pilote y arrastrando consigo la ruina de toda la obra.

Estos dos defectos capitales del primer puente, causas evidentes de su caída, se evitaron en la nueva obra del siguiente modo.

Puente nuevo Aleardi, en Verona (Italia) (lám. II, fig. 3).—A cada palizada se añadieron otros dos pilotes aguas arriba y aguas abajo (véase lám. II, fig. 3), que unidos por dos fuertes jabalones de hierro en U de $210 \times 50 \times 9$, servían de tajamares; recibiendo el primer choque de la corriente y de los cuerpos flotantes, resguardaban por lo tanto los pilotes centrales, y por fin aumentaban singularmente la rigidez, estabilidad y resistencia de cada una de las palizadas.

Las dos piezas que constituían cada pilote se empalmaron entre sí con manguitos cilíndricos de *acero fundido*.

Las roscas, que en el puente nuevo eran de hierro fundido, se modificaron también, haciéndose de hierro laminado las alas de las hélices que se unían al cilindro matriz, que siguió siendo de fundición (lám. XV, fig. 13).

Se modificó al mismo tiempo la distribución del ancho del puente, aumentando hasta 7 metros la parte destinada á firme para paso de vehículos y reduciendo á 1 metro los andenes exteriores en voladizo. La disposición y composición de las vigas y tableros, sus luces, el emplazamiento del puente y demás detalles de la obra se asemejan al puente antiguo, diferenciándose sólo en algunos detalles.

Las *viguetas*, colocadas de dos en dos metros, tienen una sección en doble T, pero variable, presentando un perfil rectilíneo superiormente y curvo (en arco de círculo) en su platabanda inferior. Para impedir la flexión se añadió un trapecio de tirantes de hierros redondos y dos pendolones de fundición.

El piso está constituido por palastros ondulados ó *hierros zorés* que pesan 12,50 kilogs. por metro corriente. En los huecos ó acanaladuras de estos *hierros zorés* se colocaron ladrillos en forma de cuña, fabricados expresamente, los que, no sólo aligeran algo la carga del afirmado, sino que mantienen invariables las ondulaciones del palastro.

El peso del puente nuevo se resume del modo siguiente:

Tramos..	}	Vigas principales..	46.504,50 kgrs.	30,5 por 100.
		Viguetas.	26.812,00 —	17,5 —
		Hierros zorés y empalmes.	44.422,90 —	29,0 —
		Andenes y ménsulas.	17.988,20 —	11,7 —
		Barandilla.	8.878,57 —	5,8 —
		Riostras, etc.	8.180,00 —	5,5 —
		Suma.	152.786,17	100,0
Palizadas.	}	Columnas, hélices y mangnitos.	39.113,00 kgrs.	
		Cruces de San Andrés, riostras, etc.	11.131,05 —	
		Capiteles, cnbos de las roscas.	3.908,50 —	
			54.152,55	
		Tajamares.	7.015,00	
			61.167,55	
		Peso total	213.953,72	

Puente sobre el Adige, en Zevio (lám. II, figs. 4, 5 y 6). — Este puente, construido en 1880 por cuenta del municipio de Zevio, resistió felizmente la extraordinaria crecida del año 1882, que destruyó el primer puente de Verona, descrito anteriormente. Tiene una longitud total de 254^m,40, dividida en tres trozos independientes. La parte central, de 24 metros de luz y 7 metros de ancho, para permitir el cruce de los vehículos (véase la planta, fig. 6), y por ambos lados otros dos puentes de 5 metros de ancho y 115,20 de longitud, dividido cada uno de ellos en cinco tramos, los tres centrales de 24 metros y de 20 metros de luz los extremos (1).

Las dos palizadas centrales están constituidas por ocho pilotes, y las demás sólo tienen dos pilotes en el plano de las vigas principales, en la forma que se representa en detalle en la figura 5 de la lámina XIX.

No hay estribos de fábrica en los extremos: los tramos se prolongan dos metros después de las últimas palizadas, que llevan rodillos de dilatación y se empotran en el cono del terraplén de avenidas, defendido por un encachado contra las degradaciones del río.

(1) Pueden verse detalles de esta interesante obra en la *Monografie tecniche* del ingeniero italiano Biadego.

Esta disposición, así como la reducción del ancho del puente en la mayor parte de su longitud y la sencillez de las palizadas, evidencian el criterio económico que ha presidido en la redacción del proyecto, y puede ser provechosamente imitada en circunstancias análogas.

En el capítulo IX describimos los pilotes y las roscas de fundición con hélices de palastro (lám. XIX, fig. 7), de las que hay tres modelos:

Pilotes de 0^m,125 de diámetro, con hélices de 0^m,800 de diámetro para las dos palizadas centrales: pilotes de 0^m,160 y roscas de 0^m,900 para las palizadas sencillas, y pilotes de 0^m,120 con roscas de 0^m,700 para las palizadas estribos. El empalme de los trozos de pilote se efectúa por medio de un manguito de hierro fundido que se representa en la misma figura.

Los tramos están roblonados á los capiteles de los pilotes, salvo en las palizadas extremas y en uno de los dos pilotes de las palizadas centrales que llevan rodillos de dilatación, que son cilindros de fundición de 80 milímetros de diámetro.

El municipio de Zevio se propuso que el puente se construyera en condiciones de resistir al paso de un tranvía de vapor; así es que se calcularon sus elementos con arreglo al tren tipo indicado, anteriormente, al describir el puente de Verona.

Aun así, el peso total del puente sólo es de 306.500 kilogramos, y el costo de la parte metálica de 169.730 liras ó pesetas; es decir, 670 pesetas por metro lineal de puente, lo que, como se ve, resulta muy económico.

Los pesos por unidades lineales ó superficiales, incluyendo las palizadas, y teniendo en cuenta que los estribos extremos están sustituidos por tres pilotes cada uno, resultan ser:

Peso por metro lineal de puente.	1.204 kilogramos.
— superficial.	232 —

Puente de Curtarolo (Italia) (lám. II, figs. 7 y 8).—Sobre el río Brenta, en Curtarolo, con tramos de 21^m,45, se construyó también un puente sobre palizadas de rosca, cuyos detalles pueden verse en la citada obra de Chicchi (tavola 30).

En este puente, las palizadas están constituidas por cinco pilotes, cuatro colocados dos á dos y verticalmente en el eje de las vigas, y un pilote situado aguas arriba y unido al resto de la palizada por medio de un jabalcón oblicuo, oficiando de tajarar.

El vástago del pilote, también de hierro redondo, sólo tiene 0^m,125 de diámetro, y la rosca (lám. XV, fig. 14) medía un diámetro de 0^m,60.

Todo el conjunto de la palizada estaba arriostrado con aspas y tirantes horizontales.

El piso, que es inferior, está constituido por larguerillos de madera y entablonado para resistir al firme, apoyado todo ello sobre viguetas en celosía.

Puente Garibaldi, sobre el Adige, en Verona.—Tiene este puente una longitud total de 75 metros, divididos en tres tramos de 25 metros cada uno. Las dos vigas principales están separadas de 5^m,50, que es el ancho reservado á los vehículos. Las viguetas, que son de madera, sobresalen 1^m,70 de las vigas principales y sostienen los andenes laterales para peatones. Las palizadas se componen de dos pilotes de rosca verticales á 5^m,50 de distancia (es decir, en la vertical de las vigas principales) y arriostradas por una cruz de San Andrés.

Como se ve, esta disposición es igual á la del puente Aleardi antiguo, destruido por la crecida de 1882, y que describimos anteriormente; pero las circunstancias locales del emplazamiento impidieron sin duda que fuera este puente destruido, á pesar de que los pilotes sólo pudieron hincarse á una profundidad de 2^m,50. Verdad es que á esta profundidad se encontró una resistente capa de toba.

Los pilotes tenían un diámetro de 0^m,30. A las hélices se las había primeramente construido con diámetros de 1^m,20; pero habiendo presentado dificultades su penetración en el suelo de guijo que constituía el lecho del río, se redujo á 0^m,60 dicho diámetro, aumentando su paso y haciendo el cono de la rosca más agudo. Aun así fué preciso ayudar la hincia con un martinete de 400 kilogramos de peso.

Puente Umberto, en Verona. — Acaba de construirse en esta población un tercer puente sobre pilotes de rosca, en sustitución de otro antiguo de piedra, y cuya terminación hemos tenido ocasión de presenciar. Tiene cinco tramos de 15 metros próximamente y un ancho de 12. Cada palizada está constituida por seis pilotes de hierro dulce, recibiendo dos á dos las tres vigas de los tramos. Otros dos pilotes sirven de tajamares, y el conjunto se arriostra horizontalmente con marcos de fundición.

Puente sobre el Adige, en Albaredo. — Esta obra, construida en 1872, se encuentra á 38 kilómetros aguas arriba de Verona.

La longitud total es de 224 metros, dividida en siete tramos, de 31 metros los dos extremos y de 32 metros los cinco restantes.

La disposición de los tramos y palizadas es idéntica á la del puente de Curtarolo, sobre el Brenta, ya descrito (lám. II, figuras 7 y 8).

Las vigas principales, que tienen una altura de 2^m,48, están situadas á una distancia de 5^m,66. Las viguetas, de hierro y de 0^m,50 de altura, sostienen los hierros zorés sobre los que se apoya el firme.

Las palizadas 1.^a, 2.^a, 3.^a y 4.^a, contando desde la margen izquierda, están constituidas, como en el puente citado, por cinco pilotes de hierro de 0^m,125 de diámetro y hélices de 0^m,80, formando un pentágono. Cada viga se apoya sobre dos pilotes, situados á 1^m,60 de distancia; el quinto pilote, que sirve de tajamar, se colocó á 1^m,60 por delante del rectángulo formado por los otros cuatro. El conjunto se arriestra horizontal y verticalmente por aspas y cruces de San Andrés.

En las pilas 5.^a y 6.^a se ha suprimido el tajamar por hallarse situadas en la margen derecha, que está casi siempre en seco.

Los dos estribos están contruidos, como en el puente de Zevio, por tres pilotes situados en un plano normal al eje del puente, y el extremo de las vigas, que sobresalen 1 metro de estas palizadas-estribos, se apoya además sobre los terraplenes de avenidas.

Este puente se sometió, una vez terminado, á las pruebas siguientes:

Aunque la carga estática de cálculo era de 400 kilogramos por metro cuadrado, la de prueba resultó ser de 489 kilogramos en toda la longitud del puente. La prueba dinámica se hizo con dos carros de 11 toneladas de peso que se cruzaron en el centro del puente.

El peso total de los hierros se descompone del modo siguiente:

Tramos.	{	Vigas y viguetas.	170,959,64 kilogramos.
		Hierros zorés y accesorios.	73,363,00 —
		Rodillos de dilatación.	4,627,24 —
			248,949,88

Palizadas..	}	373,34 metros lineales de pi- lote de 0 ^m ,125 de diámetro.	35.672,63 kilogramos.	
		34 roscas de fundición. . . .	9.408,82	—
		31 manguitos de fundición. .	5.117,42	—
		Arriostramientos de las dos palizadas-estribos.	7.377,00	—
		Arriostramientos de las dos palizadas 5. ^a y 6. ^a	9.168,44	—
		Arriostramientos de las cua- tro palizadas 1. ^a , 2. ^a , 3. ^a y 4. ^a	38.902,92	—
			<u>105.647,23</u>	

Lo que da un peso total al puente de 354.597 toneladas, es decir, 1.110 kilogramos por metro lineal de puente y 196 kilogramos por metro superficial.

Puente sobre el Adige, en Pescantino.—En el año 1873 se abrió al público otro puente sobre pilotes de rosca, situado á 12 kilómetros aguas arriba de Verona.

Tiene una longitud de 101,60, dividido en tres tramos de 32 metros los extremos y 36 metros el central.

Los estribos son de fábrica y las dos palizadas se componen de cinco pilotes de 0^m,125 de diámetro, uno de ellos sirviendo de tajamar, afectando una disposición análoga á la de los puentes de Albaredo y Curtarolo

Las pruebas del puente consistieron en cargarlo con 400 kilogramos por metro cuadrado, y después se hicieron cruzar dos carros de 11 toneladas de peso.

Hemos visto también en Pisa otro puente sobre pilotes de tres tramos y con una disposición análoga á los de Curtarolo y Pescantino.

Puente sobre el Bacchiglione, en Tencarola (lám. II, figs. 9 y 10).—Todos los puentes italianos que acabamos de describir tienen sus pilotes de hierro dulce; el construido sobre el Bacchiglione, en Tencarola, y del que pueden verse más detalles en el *Tratado de Puentes* de Chicchi (tavola 30), se apoya sobre palizadas rectas constituidas por dos tubos de hierro fundido de 0^m,300 de diámetro exterior y 30 milímetros de espesor.

En la parte inferior de la palizada, que se encuentra debajo del agua, los tubos llevan cuatro nervios verticales, mientras que en el piso superior la sección es anular.

Este puente consta de tres tramos de $15^m,84$ de luz los extremos, de $19^m,36$ el central, lo que da una longitud total de $52^m,44$.

La disposición de la palizada y de los tramos es análoga á la de otros puentes ya descritos, por lo que parecemos inútil detallarla.

Puente sobre el Arno, en Florencia.—En esta población existía un antiguo puente colgante llamado de San Fernando, que ha sido sustituido en 1890 por un puente sobre pilotes-tubos metálicos, construido por la Sociedad Cotrau.

Se compone de tres tramos de unos 30 metros, apoyados sobre dos pilas.

Cada pila está formada por 6 pilotes en dos filas y dos pilotes que sirven de tajamares. Se ha envuelto el conjunto en una ataguía rellena de escollera.

Los pilotes son tubos de fundición de $0^m,30$ de diámetro y están fuertemente arriostrados por tres marcos horizontales y cruces de San Andrés en los planos verticales.

Las dos vigas se apoyan directamente sobre dos pilotes cada una, quedando libres los pilotes centrales, cuya utilidad no parece justificada. Así que consideramos viciosa esta disposición.

Puentes sobre el Brenta, en Vigonovo y Strá (lám. II, figs. 11, 12, 13 y 14).—Estas dos obras, cuyos planos más detallados se presentan en el Chicchi, no se han fundado con pilotes de rosca; pero el empleo que en ellas se ha hecho de tubos de hierro fundido para construir las palizadas nos mueve á dar sobre ellas algunos datos, por más de que consideramos muy defectuosas estas obras, según en otro capítulo justificaremos.

Los dos puentes tienen igual disposición general respecto á sus tramos, constituidos por vigas en celosía de $1^m,12$ de altura, que sostienen un grueso entablonado de madera, sobre el que se extiende el firme.

Cada viga se apoya sobre un tubo de fundición de $0^m,250$ de diámetro y 25 milímetros de espesor, reforzándose esta palizada con tajamares de madera, habiéndose sin duda preferido este material por tener mayor elasticidad que la fundición para recibir los choques de los cuerpos flotantes.

El cimientó propiamente dicho se compone en el puente de Vigonovo de cuatro pilotes de madera de 225×225 , adosados

para cada uno de los tubos, y otros dos pilotes del mismo material correspondientes á los tajamares.

En el puente de Strá, la fundación que se hizo sobre roca consistía en cuatro hiladas de sillería.

Puentes de Ginebra (Suiza).—En esta hermosa población de la Suiza hemos visto tres puentes sobre pilotes metálicos que atraviesan el Ródano á su salida del lago Lemán.

Uno de ellos tiene 45 metros de ancho y da paso á dos calles con doble vía para tranvía.

La longitud de los tramos oscila entre 10 y 16 metros, y están constituidos por vigas rectas de alma llena ó en celosía; la disposición general es parecida á la del puente de Saigón (lám. I).

Las palizadas son rectas, sin tajamares, y se han formado con tubos de hierro fundido ó de hierros zorés de palastro, arriostados entre sí con cruces de San Andrés. Cada pilote sirve de apoyo á una viga; así es que el puente, de 45 metros de ancho, tiene palizadas compuestas de 20 tubos en fila de 0^m,60 de diámetro.

A pesar de la impetuosa corriente del Ródano, estas sencillas palizadas no han sufrido el menor movimiento, y prestan los puentes así establecidos excelente servicio, según nos han manifestado los ingenieros de vías públicas de aquella ciudad.

Puentes en Rumania, para carreteras.—En Rumania, una sociedad inglesa ha construído diez grandes puentes para carreteras, con palizadas sobre pilotes de rosca.

Estos últimos consistían en tubos de fundición divididos por trozos de 2 metros, unidos entre sí por bridas y tornillos.

Las columnas de cada palizada, que están en un plano, se unieron entre sí con cruces de San Andrés, y sobre sus capiteles se apoyaban directamente las vigas longitudinales, que á su vez sostenían las viguetas y el piso, constituido por chapas onduladas de palastro, hormigón y afirmado.

En el invierno de 1870-71 estas palizadas fueron en parte socavadas á causa de la insuficiente profundidad de hinca de los pilotes en un lecho fangoso, y fué necesario defenderlas con escollera, con lo cual quedó más seguro el lecho del río y se evitaban nuevas socavaciones.

PUENTES EN ESPAÑA

Puente de Porto, sobre el río Eo (Asturias).—El primer ensayo que se hizo en España (año 1861) de las palizadas sobre pilotes de rosca fué desgraciado, pues en la prueba de resistencia de palizadas éstas sufrieron un hundimiento de más de 5 metros, que obligó á modificar el sistema de cimentación.

Al estudiar la resistencia de las roscas de los pilotes (capítulo X) nos extenderemos sobre este contratiempo y se verán las causas que lo determinaron, que fueron independientes del sistema, razón por la que, y aunque sea con carácter histórico, debemos dar alguna idea del proyecto.

La longitud total del puente de hierro era de 90 metros, divididos en dos tramos de 38 metros de luz. Los estribos son de fábrica, y sólo la pila intermedia, que era un castillete de hierro, se apoyaba sobre once pilotes de hierro dulce con roscas de fundición, con una disposición muy parecida á la del puente de la Viña del Mar, que describimos en el capítulo siguiente. Los planos, cálculos y detalles de esta obra se han publicado en la *Revista de Obras públicas*, año 1861, núm. 15.

Los tramos están constituidos por tres vigas tubulares de alma llena, fuertemente arriostrados. El castillete, formado por tres pisos, era también muy robusto; pero débese tener en cuenta la fecha en que esta obra se proyectó (1859), en cuya época no se había aquilatado el cálculo de las dimensiones de los puentes de hierro, siendo indispensable pecar por exceso.

Por otra parte, la considerable luz de los tramos (38 metros) aumentan también el peso, y no es extraño que no resistieran unas delgadas hélices de fundición á sobrecarga tan extraordinaria, sobre todo en un lecho de légamo, como lo es el del río Eo en aquel punto.

Puente sobre el río de las Piedras (Huelva) (lám. III, figuras 1 y 2).—El malogrado como distinguido ingeniero de caminos D. Rafael de Zafra (q. e. p. d.) proyectó en el año 1869, para la carretera de Gibraleón á Ayamonte (provincia de Huelva), un puente sobre pilotes de rosca para el río de las Piedras, que en cambio ha obtenido muy satisfactorios resultados desde el año 1883, en que se terminaron las obras.

Tiene una longitud total de 146 metros, dividida en siete

tramos, dos extremos de 17^m,55 de luz y cinco intermedios de 21^m,60 de longitud.

El tablero del piso es de madera, constituido por un entablado de 0^m,07 de grueso, sobre larguerillos de 0^m,18 \times 0^m,12 de escuadra.

Este entramado se apoya sobre las viguetas inferiores de hierro, que son de doble T, de alma llena de 0^m,300 de altura, con cuatro angulares de 60 \times 60 \times 10.

Estas viguetas están separadas 1^m,35, y se enlazan con las vigas por medio de los montantes verticales de éstas.

Las vigas tienen 1^m,56 de altura, son continuas en toda la longitud del puente y de celosía de llanta.

Se apoyan estas vigas principales sobre dos pilotes-tubos de fundición de 0^m,25 de diámetro exterior, situados en su plano vertical, y sobre cuyos capiteles ruedan tres rodillos de fundición que permiten la libre dilatación de los tramos ó placas de apoyo fijas, cuyos detalles pueden verse en la lámina XVI.

Los estribos extremos también están constituidos por pilotes que quedan enterrados en el pedraplén de avenidas.

Las palizadas, que son todas iguales, incluso las de los estribos, están solamente constituidas por cuatro pilotes de fundición verticales, arriostros en los dos planos paralelo y normal al eje del puente.

Estos pilotes, que se describen detalladamente en el capítulo IX, § 5 (lám. XVI), son tubos de 0^m,25 de diámetro exterior y terminan con una rosca de 1^m,20 de diámetro. Se hincaron á profundidades que variaban entre 1^m,50 y 6 metros, según que la capa de greda compacta en que habian de penetrar estaba más ó menos profunda por debajo de la capa de cascajo y légramo que constituye el lecho superficial del río de las Piedras.

Es esta obra una de las más sencillas y bien estudiadas de cuantas presentamos y honra al ingeniero que la proyectó, en una época en que aun subsistían recelos sobre esta clase de fundaciones. La mejor prueba de la economía del sistema consiste en su costo.

Cada una de las palizadas, incluso las escolleras de defensa que rodeaban su pie, los andamiajes y medios auxiliares. sólo exigió un gasto de unas 2.000 pesetas. El total de la obra, comprendiendo las escolleras de los dos estribos y los terraplenes de

avenidas, no excedió de 133.900 pesetas, lo que equivale á un costo por metro lineal de puente de 892 pesetas.

El peso de esta obra se descompone como sigue:

Hierro fundido..	}	32 roscas.	12.800 kilogramos.
		32 columnas.	39.829 —
		32 capiteles.. . . .	6.408 —
		Placas de apoyo, etc.	1.037 —
Total..		60.074	
Hierro laminado.	}	Arriestrado de palizadas.. . . .	17.610 kilogramos.
		2 vigas principales.	63.418 —
		108 viguetas.	35.247 —
		Arriestrado de vigas.	3.560 —
		Pernos, clavazón, etc.	1.822 —
Total..		121.657	

Se emplearon además 45,33 metros cúbicos de madera para el tablero.

Puentes de Zumáya (Guipúzcoa) (láms. III y XXI).—Más recientemente (de 1883 á 1885) se han construido en Guipúzcoa, para la carretera de Guetaria á Zumaya, dos puentes sobre pilotes de rosca. El primero sobre la regata Irubide (figs. 3 y 4), de 32 metros, divididos en tres tramos; el segundo sobre el río Urola, de 121 metros y cinco tramos (figs. 5 y 6).

Se encuentran ambos puentes próximos á Zumaya, y en la lámina XXI presentamos los detalles de estas interesantes obras, que nos han sido facilitados por el director de obras provinciales D. Inocencio de Elorza.

El autor de los proyectos fué el inspector de caminos, canales y puertos D. José de Echevarría (q. e. p. d.), que adoptó en los dos puentes análogas disposiciones, razón por la que los describiremos á la vez.

El ancho entre barandillas de los dos puentes es de 7^m,35, dividido en el paso central para firme de 4^m,70 y dos andenes en voladizo de 1^m,82 de ancho. Los tramos son continuos en los dos puentes y constan de dos vigas principales, de alma llena y 1 metro de altura en el primero, de celosía y 2 metros de altura en el segundo.

Las luces y palizadas están proporcionadas á la altura de la rasante.

En el puente sobre el Irubide, el tramo central sólo tiene 12^m,80 y las palizadas son sencillas, apoyándose sobre tres pilotes. Para el río Urola, en que la rasante está más alta, se aumentó hasta 26^m,60 la longitud del tramo central, requiriendo este aumento del peso de la superestructura un proporcional aumento en la solidez de las palizadas, que son dobles y se apoyan sobre seis pilotes.

En uno y otro puente los montantes de las palizadas son oblicuos, formando vigas armadas triangulares, que reparten por igual el peso de los tramos sobre los pilotes que constituyen el cimientó.

En el puente sobre el Urola, la altura de las palizadas, que es de 4^m,50, obliga á dividir las en dos pisos, arriostrándolas con tirantes horizontales y cruces de San Andrés en su parte inferior.

Los demás detalles de estas obras pueden apreciarse en la lámina XXI.

En cuanto á los pilotes, que son tubos de hierro fundido con rosca helizoidal, se representan en la lámina XVII y se describen en el cap. IX, § 5. Son iguales en los dos puentes.

La hinca de los pilotes se hizo por medio de un cabrestante de hierro provisto de palancas de 7 metros de diámetro total; el trabajo de hinca se continuaba hasta tanto que un esfuerzo de 500 kilogramos, aplicado tangencialmente en los extremos de los brazos, no produjera movimiento alguno de giro, con lo que se consideraba la hinca hasta el rechazo.

El peso de estos puentes ha sido de 277 toneladas el construído sobre el Urola y de 55 toneladas el del río Irubide; es decir, pesos por metro superficial de puente de 311 y 233 kilogramos respectivamente, que, según puede verse en el anexo número 2, resultan tan ligeros como los de otros puentes cuyas palizadas carecen de la rigidez y estabilidad de éstos. Están, pues, perfectamente estudiados y son dignos de ser imitados.

Puente sobre la ría del Burgo (Coruña) (lám. III, figs. 7 y 8).
—Se acaba de replantear en la provincia de la Coruña un gran puente, llamado del Pasaje, para la carretera de tercer orden del Pasaje á Sada, y proyectado por el ingeniero jefe D. Juan Manuel Fernández Yáñez.

El espacio comprendido entre los paramentos de los estribos

extremos de fábrica es de 207 metros; se salva con 14 tramos de 12 metros de luz, apoyados sobre 13 palizadas dobles de 3 metros de ancho, lo que da á cada tramo una longitud de 15 metros entre los ejes de los apoyos.

Los pilotes son de hierro dulce, tienen 0^m,14 de diámetro y llevan roscas y capiteles de fundición.

La disposición de las palizadas y tramos es análoga á la de otros puentes ya descritos; se representa con suficiente claridad en la lámina III, razón por la que creemos innecesario entrar en más detalles.

Se ha calculado el puente para resistir con un trabajo de 6 kilogramos por m^2 al paso de carros de 12 toneladas y 4 ruedas que se crucen sobre el firme, cargando los paseos con 300 kilogramos por m^2 .

El autor del proyecto manifiesta en su Memoria: «El sistema de construcción, tendiendo á conservar la horizontalidad de la fibra media sobre toda la amplia anchura de la pila, realiza casi completamente la hipótesis del empotramiento sobre ellas de que hemos partido, y por el contrario, constituyendo esas anchas pilas unos tramos intermedios, y no pudiendo por esta causa y por el sistema de apoyar las vigas sujetándolas á los capiteles transmitirse la acción de los de unos tramos á otros, la hipótesis de la continuidad de los tramos es de todo punto inadmisibile».

Las viguetas transversales se calcularon como empotradas en los extremos; las longitudinales, como vigas apoyadas.

Con estas premisas, las dimensiones de los elementos arrojan la cubicación siguiente:

Peso de una pila.	}	Hierro laminado	10.461 kilogr.
		— fundido.	1.484 —
			<hr/>
			11.948
			<hr/>
Peso de un tramo de 15 metros. .	}	2 vigas.	5.997 kilogr.
		Viguetas transversales.	5.124 —
		— longitudinales.	1.740 —
		Bovedillas de palastro. .	6.997 —
		Barandilla.	1.758 —
		Roblones y entrejuntas.	800 —
			<hr/>
			22.416

En el capítulo XII y anexo núm. 2 compararemos estos pesos con los de los demás puentes examinados.

El presupuesto de la parte metálica y afirmado es de 275.892 pesetas, y los estribos de fábrica costarán 68.563 pesetas.

El subsuelo es de arena fina sobre una capa de roca; en los puntos donde ésta aparezca á menos de 3 metros, se sustituirán las roscas por trépanos que habrán de penetrar 0^m,40 por lo menos.

El rechazo que se exige para los pilotes de rosca es de 15 milímetros para seis vueltas de cabrestante.

Esta interesante obra está contratada por la Sociedad de Material para ferrocarriles y Construcciones de Barcelona y deberá terminarse en junio próximo.



CAPÍTULO V

PUENTES PARA FERROCARRILES CONSTRUÍDOS SOBRE PALIZADAS METÁLICAS

Viaductos de Kent y Leven (Inglaterra).—Viaducto de Taptee (India inglesa).—Puente de Koenisberg (Prusia).—Puente de la Viña del Mar (Chile).—Viaducto de la Guaira (Venezuela).—Puente de Mobile (Estados Unidos).—Puente sistema americano.—Puente de Lewes (Estados Unidos).—Puente sobre el río Neto, para el ferrocarril de Tarento á Reggio (Italia).—Puente Molini, sobre el lago Mantua (Italia).—Puentes en Suiza.—Puente del tranvía de Lezo (Portugal).—Puente sobre el río Muga (Gerona).—Puentes de los ferrocarriles del Sur de Francia.

Viaductos de Kent y Leven (Inglaterra) (lám. IV, figs. 1 y 2).—Para el ferrocarril de Ulverstone á Lancáster, proyectado en 1853, se han construído los dos viaductos de Kent y Leven, situados sobre los bancos de arena de la bahía de Marecombe, por medio de los pilotes de plataforma descritos en el cap. IX (lámina XVIII), y que han sido los dos primeros puentes apoyados sobre pilotes metálicos.

De estas obras, cuyos detalles pueden verse en el tratado de puentes de Mr. W. Humber, láminas XLVI á XLIX (1), sólo presentamos el alzado de frente y transversal de una de las palizadas.

Para la hinca de los pilotes, el ingeniero Mr. Brunlees imaginó el primero emplear la inyección de agua, procedimiento que describimos en el capítulo XIV, y por medio del cual se pudieron introducir los tubos unos 2 ó 3 metros en el banco de arena que constituía el suelo. Se consolidó el conjunto de la palizada envolviendo los tubos con escollera, que casi alcanzaba el nivel de las bajas mareas.

Si bien fué notable é ingenioso el nuevo procedimiento de hinca seguido en estas obras, no podemos menos de hacer observar que la disposición de las palizadas no ha sido bien estudiada, pues cada una de ellas se compone de diez pilotes, de los

(1) *A complete treatise on cast and Wrought iron bridge construction including iron foundations* by William Humber, 2.ª edición, Londres, 1864.

cuales sólo cuatro, los que corresponden á los carriles, son elementos esencialmente resistentes.

Viaducto de Taptee (India inglesa) (lám. IV, figs. 3 y 4).—El viaducto de Taptee es un modelo del tipo medio de la larga serie de puentes proyectados por el teniente coronel I. P. Ken-nedy para el ferrocarril de Bombay, Baroda é India central.

El terreno atravesado por esta línea, en los 506 kilómetros que median entre Bombay y Ahmedabab, encuentra numerosos ríos, que deben salvarse con puentes de importancia, cuya longitud llega á 16 kilómetros en esta sección, amén de otras muchas pequeñas obras de fábrica. De tal consideración son las obras necesarias en la construcción de esta línea, que se ha discutido mucho por notables ingenieros su posibilidad económica, siendo necesario desechar las antiguas disposiciones y aceptar el sistema de pilotes de rosca, único que permitió resolver prácticamente el problema el año 1860.

Se adoptó como pilote-tubo el modelo representado en la lámina XVII, figuras 14 á 17, y descrito en el capítulo IX, constituyendo las palizadas en la forma representada por las figuras 3 y 4 de la lámina IV.

Los pilotes inclinados no sólo actúan como tajamares, sino como jabalcones, que se oponen á la acción de las corrientes de marea cuando obren sobre el lado opuesto de la palizada; para evitar el peligro de la rotura de los tubos de fundición por el choque de un cuerpo flotante, se recubrían los primeros pilotes de uno y otro lado de la palizada con una envolvente de madera, que por su elasticidad amortiguaba los choques.

Para la determinación de la luz más conveniente, se calcularon los puentes con muy diversas luces para rasantes comprendidas entre 13 y 18 metros de altura, que son las que generalmente se necesitaban, resultando como más económica la luz de 60 pies, que ha sido la adoptada, y da distancias de 19^m,012 entre eje y eje de la palizada.

Los puentes son para doble vía, y los tramos, de hierro laminado, son celosías triangulares del sistema Warren. A continuación damos algunos datos interesantes sobre estas obras (1):

(1) Para más detalles, puede consultarse el ya citado *Tratado de puentes* de Humber, láminas 36, 37 y 38.

Luces de los tramos (metros)	19,012
Alturas de las palizadas (ídem)	13,725
Peso de una palizada para doble vía (kilogramos)	26,550
Ídem de la superestructura de un tramo (ídem)	46,900
Ídem total para una palizada y un tramo (ídem)	72,450
Ídem de la carga móvil sobre la plataforma (ídem)	136,000
Ídem sobre cada palizada (ídem)	208,450
Presión por centímetro cuadrado de rosca	4,444
Costo del metro lineal de puente completamente terminado (en la India), pesetas	2,160

Los puentes, construídos y probados en Inglaterra, se enviaban, de suerte que se necesitara la menor cantidad de trabajo delicado de ajuste y montaje en la India, y al cabo de poco tiempo se había llegado á obtener tal rapidez en la construcción de las palizadas, montaje y corrimiento de los tramos, que cada palizada se terminaba en quince días y se cubrían estas palizadas con las superestructuras á razón de dos días por tramo; así es que el viaducto de Taptee se abrió á los trenes en noviembre de 1860, menos de un año después de hincar el primer pilote.

En esta sola línea férrea se construyeron 109 puentes de este sistema, comprendiendo 534 tramos de 60 pies de luz, es decir, más de 10 kilómetros de puente.

Puente de Koenisberg (ferrocarril de la Prusia occidental).— En la construcción del puente para ferrocarril que debía de atravesar los fosos de la fortaleza de Koenisberg, se encontró el subsuelo formado, hasta una gran profundidad, por capas superpuestas de légamo y arena.

Se pensó entonces apoyar el puente sobre 10 tubos de fundición con roscas helizoidales (lám. XVI, figs. 18 y 19), que describimos en el capítulo IX, § 6.

La hinca de estos tubos, á pesar de sus considerables dimensiones, no ofreció serias dificultades, y se efectuó por el procedimiento ordinario, empleándose seis días para cada tubo, con una cuadrilla de 16 peones.

En el capítulo XIV describimos el cabrestante empleado para la hinca.

Puente de la Viña del Mar (Chile) (lám. IV, figs. 5, 6 y 7).— *Descripción general.*—Este puente tiene una luz total, entre pparamentos de estribos, de 90 metros, divididos en seis tramos

de 15 metros cada uno, y fué construído en Inglaterra, en los talleres de Lloyd, Forster y compañía.

Siendo la línea férrea de Valparaíso á Santiago, en que esta obra se encuentra, la arteria de más importancia de la República chilena, el puente, como todo el resto del trayecto, es de doble vía.

Los tramos están constituídos por cuatro vigas de alma llena en doble T, de 0^m,90 de altura, formando dos puentes independientes entre sí y correspondiendo cada uno de ellos á una vía. Las dos vigas de cada vía se enlazan con viguetas, también de doble T y alma llena de 0^m,70 de altura, que sólo sirven de arriostamiento.

Sobre estas cuatro vigas, y unidas á ellas, están colocadas fuertes viguetas de roble de 8^m,90 de longitud y separadas entre sí de 0^m,90 á 1 metro, y sobre estas viguetas se apoyan á su vez los largueros de madera que sostienen los carriles Barlow. No hay barandilla, y el piso sólo está entablonado en los dos andenes laterales.

Palizadas.—Los apoyos ó pilas están constituídos por palizadas metálicas, que á su vez se apoyan sobre diez pilotes de hierro (lám. XV, fig. 7).

Ocho de estos pilotes están dispuestos de dos en dos en el eje de cada una de las vigas principales, y los otros dos están colocados delante y detrás de la pila para constituir dos tajamares y dar al mismo tiempo más rigidez al conjunto.

Son estos pilotes de hierro forjado, y tienen 4^m,50 de longitud y 0^m,10 de diámetro; la rosca es de fundición, con un diámetro de 0^m,60.

Se han hincado hasta 1^m,80 por los medios ordinarios, con cabrestantes movidos á brazo, obrando directamente sobre las cabezas de los pilotes, sin recurrir al empleo de manguitos intermedios.

Los pilotes de cada pila están arriostrados entre sí, transversal y longitudinalmente, por hierros en T de 110/110, roblonados á los capiteles de fundición que coronan los pilotes, y sirven de apoyo á la palizada propiamente dicha.

Está constituída ésta por 16 montantes iguales de hierro en T de 150/120, que se inclinan hacia el vértice de la pila, uniéndose así por medio de un cuadro de chapas y ángulos, sobre el que descansan las placas de apoyo y rodillos de dilatación de las

vigas principales. Dos jabalcones inclinados también y de hierro en T, como los montantes, forman tajamares y se unen á los pilotes situados delante y detrás de la pila.

Se ve por esta descripción que cada viga está soportada por grupos semejantes, formados por 4 hierros T, que descansan dos á dos sobre la cabeza de cada pilote.

La altura vertical de estos castilletes, que es de 3^m,50, está arriostrada por su parte media, y además hay otros arriostramientos secundarios, que impiden en absoluto la flexión de los montantes.

Peso de la parte metálica.

4 vigas (á 25.000 kilogs.) y 49 viguetas (á 320 kilogs.). . .	115.700 kilogs.
5 palizadas, á 3.500 kilogs.	17.500 —
Cimiento de las 5 palizadas, comprendiendo 10 pilotes de rosca cada una, á 3.000 kilogs.	15.000 —
Hierro fundido para capiteles, placas de apoyo y dilatación, á 750 kilogs. por pila.	3.800 —

Peso total (hierro y fundición). 152.000

Es decir, por metro lineal de puente, incluso palizadas y pilotes, 1.700 kilogramos.

El trabajo de los hierros en las pruebas sólo ha sido de 2^k,15 por milímetro cuadrado en los montantes de las palizadas, y ha llegado en cambio á 7 y 8 kilogramos en las vigas del puente.

Los hierros de los pilotes trabajaron á 2^k,30.

Aunque de los más antiguos, es uno de los puentes mejor estudiados, á mi juicio, de cuantos vamos examinando; sirve á satisfacción completa un ferrocarril de gran circulación de vía ancha (1,70) y doble, y su extraordinaria economía, 850 pesetas por metro lineal (suponiendo el hierro á 0,50 peseta kilogramo), le hacen acreedor á las imitaciones en muchos de los pasos de análogas condiciones. (Pueden verse detalles de este puente interesante en la revista *Nouvelles annales de la construction*, de Oppermann, 1860.)

Viaducto de La Guaira (Venezuela) (lám. IV, figs. 8, 9 y 10).— El ferrocarril que enlaza la capital de la República de Venezuela (Caracas) con su puerto sobre el Atlántico, La Guaira, tiene 33 kilómetros de longitud; la distancia horizontal entre estos dos puntos es mucho menor, pero como es menester salvar un desnivel de 910 metros, aun cuando se han admitido pen-

dientes de 35 milímetros por metro, se precisó darle gran desarrollo, lo que produjo un trazado extraordinariamente sinuoso, en el que dominan las curvas; la proporción de éstas con las alineaciones rectas es de 4 á 1, y muchas de ellas tienen sólo 40 metros de radio con ángulos de más de 180°.

La salida de la estación de La Guaira se presentaba muy difícil y costosa, pues había que pasar con una fuerte rampa de 29 milímetros y con una rasante alta sobre una playa de arena. Se resolvió muy inteligentemente el problema con un viaducto sobre pilas metálicas y pilotes de rosca de 510 metros de longitud, con curvas y contracurvas de 600, 300 y 170 metros de radio.

Los tramos en esta obra sólo tienen 10 metros de longitud, y están constituidos por vigas inferiores de alma llena de 0^m,68 de altura, arriostradas por viguetas de hierro.

Sobre las cabezas superiores de las vigas se apoyan directamente traviesas de *vera* (madera más dura é incorruptible que la caoba) de 3^m,20, y sobre éstas á su vez descansan los carriles de 25 kilogramos para la vía férrea, que tiene 0^m,914 de ancho (3 pies ingleses). No puede pedirse mayor sencillez.

Los 51 tramos de este viaducto se apoyan sobre 50 pilas metálicas, de las cuales 37 están cimentadas sobre pilotes de rosca y las 13 restantes sobre macizos de fábrica empotrados en la parte de playa que no alcanzan las mareas.

La altura de las pilas es variable constantemente, y oscila entre 2^m,70 y 12^m,40; para facilitar la construcción se las ha dividido en segmentos de 2 metros de altura, quedando únicamente desigual el segmento de la base.

La disposición general de estas pilas recuerda algo la del puente de Valparaíso, examinado anteriormente. Están constituidas por un castillete de hierros laminados, afectando la forma general de un tronco de pirámide de bases hexagonales; sólo que en lugar de apoyarse sobre 10 pilotes como en aquel puente, en este viaducto, que sólo es para vía sencilla, las pilas se apoyan sobre 6 pilotes, de los cuales 4 corresponden dos á dos á la vertical de las dos vigas principales y los otros 2 se encuentran delante y detrás, para completar la rigidez é impedir los movimientos laterales del viaducto.

Los pilotes (lám. XV, fig. 6) se terminan con unos capiteles de fundición, arriostrados horizontalmente por un marco de

hierro en T. De cada capitel arrancan dos montantes paralelos y constituidos por hierros en T de $150 \times 90 \times 12$, á los que se da un talud de 104 milímetros por metro; los montantes que corresponden á los tajamares son iguales á los anteriores, pero no son dobles.

Estos 10 montantes están fuertemente arriostrados horizontalmente de 2 en 2 metros por hierros en T formando marcos hexagonales, y en la parte superior este marco tiene la forma de un rectángulo de $2,64 \times 1,14$, que constituye la plataforma de apoyo de los tramos, por medio de fuertes viguetas y largueros en doble T.

Los tramos están interrumpidos cada 20 metros; es decir, que en cada pila de orden par se deja un cierto huelgo para las dilataciones.

El conjunto de esta obra tiene una disposición racionalísima, y se ha obtenido con ella una notable ligereza, que se hubiera podido hacer mayor aumentando las luces de los tramos en aquella parte del viaducto en que las pilas tienen mayor altura, pero sin duda se prefirió hacer todas las luces iguales para facilitar la construcción. El peso de los hierros es el siguiente:

Tramos.	Hierro laminado.	268 800 kilogramos.
	— fundido.	70 500 —
Palizadas.	— laminado.	173 100 —
Pilotes.		26 000 —
Roscas de acero fundido.		11 000 —
		<hr/>
Total.		549 400

lo que da para el metro lineal de viaducto, incluyendo pilas y pilotes, 1.077 kilogramos. (Para más detalles, puede verse la *Revista* de Oppermann, marzo de 1877.)

Puente sobre el río Mobile (Estados Unidos) (lám. IV, figs. 11 á 16).—Un puente de 300 metros de longitud, apoyado exclusivamente sobre pilotes de rosca, ha sido construido en 1871 sobre el río Mobile para el ferrocarril de Mobile á Montgomery, en los Estados Unidos.

Tiene 5 tramos de 43 metros y un tramo giratorio de 80, apoyado en su punto medio.

La altura de la rasante sobre el lecho del río varía de 9 á 10 metros.

Las pilas ó palizadas están constituidas por dos filas de 4 pilotes á 2^m,74 de distancia, formando un prisma de base rectangular, arriostrándose el conjunto por medio de tres marcos horizontales de hierro fundido y diagonales de hierros redondos con tornillos de presión.

Los pilotes son de hierro forjado con un diámetro de 0^m,15, y se empalman sus trozos con manguitos de fundición.

La rosca de fundición tiene 1^m,22 de diámetro y pesa 700 kilogramos; se une con el pilote por medio de dos clavijas de 0^m,06, colocadas en cruz una encima de otra.

La pila, que constituye el pilote del puente giratorio, está formada por 10 pilotes de 0^m,15 y uno central de 0^m,20 de diámetro con rosca de 1^m,80 de diámetro, cuyo peso era de 1.900 kilogramos.

En las figuras 11 á 16 de la lámina IV se pueden ver los detalles de estas pilas.

La figura 11 representa el alzado transversal de una de las pilas ordinarias del puente, cuya planta es vista por encima.

La figura 12 es el alzado de la pila, visto frente al puente, y las figuras 13 y 14 dos medias secciones horizontales, á alturas distintas.

Por último, las figuras 15 y 16 representan el alzado y planta de la pila central, sobre la cual pivotea el tramo central de 80 metros.

Puente sistema americano (lám. V, figs. 1 y 2).—Este modelo, que se emplea frecuentemente en los Estados Unidos, evidencia por su simple examen su origen *yankee*, por la sencillez de su disposición y la ausencia de andenes y barandillas.

No cabe dudar, sin embargo, que para rasantes bajas, y en ríos donde no haya navegación ni flotación, es suficiente constituir cada palizada con dos pilotes, reduciéndose los tramos á pequeñas luces de 6 á 10 metros.

La estabilidad lateral de las palizadas se asegura con el pequeño talud que tienen los pilotes; la estabilidad longitudinal y la rigidez del sistema quedan garantidas con las cruces de San Andrés, cuya tensión se regula por medio de tornillos de presión.

Con esta disposición se suprimen los estribos de fábrica, y debería aplicarse frecuentemente en ferrocarriles mineros y económicos por lo menos.

Puente de Lewes (Estados Unidos).—Entre otras obras construidas en América con arreglo á la disposición que acabamos de examinar merece especial mención el puente de Landung, cerca de Lewes, en los Estados Unidos, por su extraordinaria longitud.

No hemos podido obtener dibujos de esta obra; pero con la descripción que de ella haremos podrá el lector formarse una idea bastante exacta del puente, cuya disposición se asemeja mucho al modelo anteriormente descrito y representado en la lámina V.

Mide una longitud total de 518^m,40, dividida en tres partes: una parte central de 166^m,4, con un ancho de 13^m,10, que da paso á un ferrocarril y á una carretera, y las dos avenidas con una longitud total de 352 metros, en las que el ancho se reduce á 6^m,70 para dar paso solamente á la vía férrea.

Los tramos tienen una luz constante de eje á eje de pilotes de 6^m,40; es decir, que la parte central y más ancha tiene $\frac{166,4}{6,4}$ = 26 tramos y las avenidas $\frac{352,04}{6,4}$ = 55 tramos, lo que da un total de 80 palizadas.

Estas palizadas se componen de cinco pilotes en la parte más ancha del puente, y solamente de tres pilotes en las avenidas; es decir, que transversalmente los pilotes de cada palizada están situados á 3^m,30 de distancia próximamente. Estos pilotes se arriostran transversal y longitudinalmente con tirantes en cruces de San Andrés, que se unen á collares que abrazan los pilotes, constituidos por segmentos de $\frac{1}{4}$ de círculo de hierro. La tensión de estos tirantes se regula con tornillos de presión.

En su extremo superior los pilotes se torneaban para recibir capiteles de fundición, sobre los cuales se apoyaba el tablero de la vía, que era todo de pino de la Georgia del Norte, célebre por su dureza y duración.

Las vigas tenían 0^m,30 de altura, y se unían entre sí con viquetas de 0^m,25 en cuadro; encima de este entramado se disponían las traviesas de 20 × 25 centímetros para la vía férrea y tablonos de 10 centímetros en cuadro para la carretera.

Los pilotes, que eran de hierro laminado, tenían diámetros variables entre 13 y 21 centímetros, según sus longitudes, y su extremidad inferior terminaba en sección hexagonal, embutiéndose

en la caja de igual sección abierta en la pieza de fundición que constituía la rosca del pilote, uniéndose el conjunto con una clavija.

La rosca se componía de dos hélices, cada una de ellas con medio paso. El diámetro máximo de la hélice era de 0^m,76; el paso, de 0^m,26.

Puente sobre el río Neto, del ferrocarril de Tarento á Reggio (Italia) (lám. V, figs. 3, 4 y 5).—Para el paso del río Neto, el ferrocarril de Tarento á Reggio ha empleado el sistema de pilotes de rosca en un puente *oblicuo* de siete tramos, de 24 metros de luz en el eje, cuyo alzado y secciones se presentan en la lámina V.

Cada palizada descansa sobre ocho pilotes, constituyendo una planta hexagonal con sus dos tajamares.

Las dos vigas principales del puente se apoyan por medio de montantes verticales sobre cuatro de los pilotes, colocados dos á dos en el aplomo de estas vigas. Otros dos montantes verticales, que corresponden al centro de las viguetas de los tramos, sobre las que descansa la vía, se apoyan á su vez sobre otros dos pilotes centrales.

Por último, unos jabalcones oblicuos enlazan la plataforma superior de la palizada, que sirve de apoyo á los tramos, con los pilotes situados delante y detrás, arriostrándose todo el entramado con cruces de San Andrés.

Los pilotes, que se han hincado á profundidades de 6 y 8 metros, tienen la forma representada en la figura 24 de la lámina XIV, pudiendo estudiarse los detalles de este interesante puente en el *Giornale del Genio Civile Italiano*, 1880, tavola 23.

Puente Molini, sobre el lago de Mantua (Italia).—Para el ferrocarril de Verona á Mantua se construyó el año 1873, sobre el lago de este último nombre, un puente de 115 metros sobre pilotes de rosca de cinco tramos, los dos extremos de 21 metros y de 27 metros los tres intermedios.

Cada palizada estaba compuesta por ocho pilotes, formando dos cuadrados de cuatro pilotes cada uno, unidos entre sí por una viga en doble T.

Las vigas principales de los tramos se apoyan sobre los centros de cada cuadrado, están fijas en la palizada central y se dilatan libremente sobre las demás.

Los pilotes tienen un diámetro de $0^m,125$ y una longitud de 15 metros próximamente, y las roscas un diámetro máximo de $0^m,75$. La rosca da tres vueltas completas al redor del cubo, con un paso de $0^m,26$, y tiene la sección cónica.

El lecho del lago está constituido por capas sucesivas de arena, guijo y turba; la hinca se efectuó con un cábrestante de nueve brazos, que se movió hasta con 42 hombres.

Puentes en Suiza.—En Interlaken y en otros muchos puntos de Suiza se ha empleado con éxito, y para ferrocarriles de ancho normal, el pilote que describimos en el capítulo IX, § 2, constituido por un hierro en doble T, relleno con dos semicilindros de madera, hincándose por percusión.

Sobre palizadas sencillas de estos pilotes se apoyan tramos de 10 á 15 metros, habiéndonos manifestado los ingenieros que han empleado esta tan sencilla disposición en ferrocarriles y carreteras que el sistema ha dado excelentes resultados.

Puente para el tranvía de Lezo (Portugal) (lám. V, figs. 6 y 7).—Es también un modelo muy ligero, proyectado y construido por la reputada fábrica belga de Valentín y compañía (Willebroeck).

La longitud total del puente situado en Lezo, á muy pocos kilómetros de Oporto, es de 60 metros, dividida en seis tramos de 10 metros cada uno.

El tablero está constituido por dos vigas en celosía de $0^m,666$ de altura, arriostradas por marcos con cruces de San Andrés, situados en planos verticales á $1^m,85$ de distancia; estos marcos, prolongados por fuera de las vigas, sostienen los andenes y barandillas.

Las dos vigas principales, colocadas á $1^m,50$ de distancia, se apoyan sobre dos pilotes de hierros redondos de $0^m,10$ de diámetro, que constituyen cada palizada. Estos dos pilotes, que tienen una longitud de $8^m,95$, tienen algún talud que aumenta la estabilidad de la palizada.

Para asegurar la rigidez de cada palizada, se unen los pilotes por tres tirantes horizontales á $1^m,70$ de distancia vertical, y arriostrados por hierros redondos en aspa, con tornillos de presión.

Los capiteles y las roscas de los pilotes son de fundición, con un diámetro de $0^m,750$.

El peso de este puente, construido en 1885, se resume como sigue:

	Hierro.	Fundición.	Totales.
Tramos.	17.500	300	17.800
Palizadas.	6.500	2.000	8.500
Kilogramos.	24.000	2.300	26.300

lo que da un peso por metro lineal de puente de 438 kilogramos, que resulta muy reducido.

Presentamos detalles de esta bonita obra en la lámina XXII.

Puente sobre el río Muga (España) (lám. V, figs. 8, 9 y 10).— Esta obra es una de las más notables que se han construido, y el excelente resultado de su aplicación evidencia que con una inverosímil sencillez de elementos se pueden construir puentes sólidos y duraderos, aun para líneas generales de ancho normal (1^m,73) y de tan intenso tráfico como lo es la de Tarragona, Barcelona y Francia, cuyas locomotoras alcanzan pesos de más de 40 toneladas.

A 4 kilómetros de la estación de Figueras, y entre ésta y la de Perelada, la línea tenía que atravesar el arroyo Muga, que tiene un cauce extraordinariamente variable. Esta circunstancia llevó al ingeniero jefe, D. Manuel de Aramburu, á adoptar el sistema de palizadas y pilotes metálicos, con objeto de ir variando el emplazamiento del puente á medida que fuera cambiando el río de lecho. Por este motivo, el primer proyecto que se presentó consistía en un puente de este sistema, pero sin estribos de fábrica, y la Junta consultiva no admitió este procedimiento y exigió la construcción de los dos estribos extremos de fábrica.

Este nuevo estado de cosas obligó á gestionar cerca de los propietarios ribereños, para que éstos hicieran trabajos de defensa para impedir la movilidad del cauce, lo cual parece que se ha conseguido ya.

El sistema ha dado excelentes resultados; únicamente en los primeros meses de la construcción se observó un ligero asiento en las pilas, que se comprobó minuciosamente, y resultó estar comprendido entre 9 y 22 milímetros, insignificante como se ve. Desde aquella fecha no se ha observado movimiento alguno en la obra.

Posteriormente, en 1878, y para precaverse de las socavacio-

nes que las avenidas pudieran ocasionar en el cauce del río, D. Manuel de Aramburu proyectó y construyó el zampeado general que se ve en las figuras 9 y 10, y que consiste en dos líneas de hormigón hidráulico, paralelas al puente, de 1^m,50 de profundidad y 0^m,80 de ancho; los pilotes quedan empotrados en otras líneas transversales de hormigón de 1^m×1^m, y en los espacios rectangulares intermedios se reviste el cauce con un encachado de 0^m,50 de espesor. Esta disposición, que ha resistido sin degradarse á las más violentas avenidas, merece también ser imitada en casos análogos.

En el capítulo XIV describiremos el andamio que sirvió para la hinca de los pilotes.

Describiremos ahora el puente, cuyos detalles en gran escala se representan en la lámina XXII.

Tiene 100 metros de longitud, dividida en 10 tramos iguales de 10 metros de luz. Estos tramos, que son independientes entre sí, están constituidos por dos vigas en doble T y alma llena de 900×8^{m/m} y situadas en el mismo plano de los carriles. Hierros en ángulo de 70×70×10, colocados de metro en metro, sirven de montantes.

Cada dos metros están unidas las dos vigas principales por un cuadro con cruces de San Andrés, que se prolonga en voladizo por fuera de las vigas para sostener los andenes y barandillas.

Las palizadas se componen sencillamente de dos pilotes de hierro dulce redondo, de 0^m,125 de diámetro, con un pequeño talud para aumentar su estabilidad. Cada uno de estos pilotes se termina superiormente por un capitel de fundición, que recibe la platabanda inferior de cada viga, é inferiormente por una rosca, también de fundición, de 1 metro de diámetro. El arriostamiento de los dos pilotes se efectúa con un cuadro con aspás, compuesto de hierros en T de 100×70×12.

Véase á continuación un resumen de los pesos de las diferentes partes de esta interesante obra:

		4 vigas extremas, á 1.862,9 kilogs.	7.451,6	
		16 ídem intermedias, á 1.760,7 ídem.	28.171,2	
		60 marcos transversales, á 110,1 ídem.	6.606,0	
Tramos.—Hierro laminado. . .	}	100 arriostramientos, á 46,4 ídem.	4.640,0	
		102 ménsulas de andenes, á 58 ídem.	5.916,0	
		208 montantes intermedios, á 13,6 ídem.	2.756,0	
		Angulares longitudinales de andenes.	2.067,2	
		200 metros de barandilla, á 39,307 ídem.	7.861,4	
		Cabezas de roblones, 2 por 100.	1.152,0	
		Total.	66.621,4	
Palizadas. {	}	Hierro laminado.	18 pilotes, á 649 kilogs.	11.677,0
			9 arriostramientos, á 143,5 ídem.	1.291,6
		Hierro fundido.	18 roscas, á 248 ídem.	4.464,0
			18 capiteles, á 71 ídem.	1.296,0
		Total.	18.728,6	

Resulta, pues, que el metro lineal de puente, incluso palizadas, pesa sólo 853 kilogramos; peso muy reducido, si se tiene

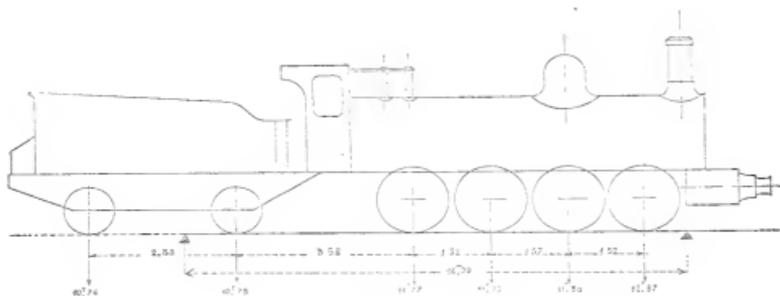


Fig. 5.

sobre todo en cuenta que por este puente circulan desde hace muchos años las locomotoras de vía ancha con pesos por eje que oscilan entre 10 y 14 toneladas.

La posición más desfavorable de una máquina de mercancías, con su carga de agua y carbón, es la que representa el diagrama adjunto. Pesan sobre un tramo cinco ejes, que producen una carga de 58,45 toneladas, á cuyo peso hay que añadir una tonelada de carriles, es decir, unas 60 toneladas.

Hay que advertir que todos los tramos, aunque unidos entre sí por las barandillas, son independientes, por lo que no se han dispuesto rodillos de dilatación.

Puentes de los ferrocarriles del Sur de Francia (lám. V, figuras 11, 12 y 13).—La Compañía de los ferrocarriles del Sur de Francia, que ha construido numerosas líneas económicas, ha construido recientemente (1888 y 1891) varios puentes sobre palizadas y pilotes metálicos (1).

La figura 11 representa el alzado del puente sobre el río Bèze, en la línea de Dijón á Fontaine-Française, y las figuras 12 y 13 representan la disposición empleada en el Valle de Frejus para la línea de Hyères á Saint-Raphael.

En estos dos ejemplos los estribos se han sustituido por cuatro pilotes, situados dos á dos en el plano de las vigas principales.

En el primer modelo los pilotes sólo tienen 7^m,20 de longitud, enterrados por completo en el terraplén. No necesitan por lo tanto arriostamiento, siendo la distancia de los pilotes de un metro.

En los puentes del Valle de Frejus se ha aumentado ésta á 2 metros, y como alcanzan los pilotes longitudes de 11^m,50, ha sido preciso arriostarlos dos á dos por cruces de San Andrés y tirantes horizontales. En la lámina XV, figura 9, presentamos detalles de esta palizada.

La *rosca* K es de acero fundido, con un diámetro máximo de 0^m,800.

Los *capiteles* E también de acero fundido, y sobre ellos se apoyan unas cajas rectangulares de palastro, constituidas por dos vigas de doble T paralelas, con platabandas comunes, que á su vez reciben las placas de apoyo ó dilataciones de las vigas.

Los *pilotes* son de hierro dulce, de 0^m,120 de diámetro, y se dividen en dos trozos de 5^m,65 de longitud.

Se empalman estos dos trozos por medio de *manguitos* HH de acero fundido y cuatro clavijas S de acero.

Finalmente, las barras A y B que arriostan los pilotes están constituidas por dos angulares de 60×60×7.

(1) Pueden verse más detalles de estas obras en *Les Nouvelles Annales de la construction*, de Oppermann, número de enero de 1894.

Estas palizadas resultan bastante ligeras, según puede apreciarse por el estado siguiente, que especifica el peso de las piezas que constituyen la palizada doble empleada en los puentes del Valle de Frejus:

DESIGNACION DE LAS PIEZAS		NÚMERO de piezas.	PESO por pieza. — Kilogramos.	TOTAL para una palizada. — Kilogramos.
Hierro dulce..	Pilotes	4	994,00	3.976,00
	Collares D.	8	22,00	176,00
	Barras A.	4	27,50	110,00
	Barras B.	4	40,60	162,40
	Pernos F.	8	2,25	18,00
	Pernos G.	8	1,82	14,56
Total hierro dulce.				4.456,96
Acero fundido..	Capiteles E..	4	65,000	260,000
	Roscas K.	4	250,000	1.000,000
	Manguitos M..	4	49,000	196,000
	Clavijas V.	4	1,780	7 120
	Clavijas S.	16	1 255	20,016
	Cuñas..	4	1,530	6,120
Total acero fundido.				1.489,256

CAPÍTULO VI

PUENTES DE SISTEMAS DIVERSOS

Puente sistema Oppermann.—Puente sistema Eiffel.—Puentes sistema Thomas y Foucart.—Puentes sistema Pozzi.

Puente de Rivadesella.—Naturaleza del subsuelo.—Soluciones posibles.—Disposición de los tramos.—Disposición de las palizadas.—Distribución de luces.—Descripción de la superestructura.—Descripción de las palizadas.

Puente para ferrocarriles económicos, sistema Ribera.

Aplicaciones de nuestro sistema de palizadas a los puentes que hemos examinado.

Además de las obras construidas y que hemos ido examinando, varios ingenieros y establecimientos industriales han estudiado, propuesto y construido gran número de puentes económicos sobre palizadas y pilotes metálicos, con arreglo á los tipos ó sistemas á los que han dado sus nombres.

En la lámina VI se presentan algunos de los más interesantes, que pasamos á describir.

También incluimos en este capítulo las descripciones de varios puentes proyectados por el autor de este libro, con una disposición nueva para las palizadas, cuyas ventajas procuraremos demostrar. Por lo demás, la Dirección de Obras públicas nos ha aprobado ya varios proyectos de este sistema, entre otros el del puente de Rivadesella, cuyas obras están ejecutándose por el Estado.

Puente sistema Oppermann (lám. VI, figs. 1, 2 y 3).—Como ya hemos dicho, el ingeniero Mr. C. A. Oppermann preconiza hace tiempo en su revista *Les Annales de la Construction* el empleo de los pilotes metálicos para las fundaciones en terrenos fangosos ó constituídos por arenas ó guijo menudo y poco compacto.

Decidido partidario del sistema, ha presentado además en el tomo del año 1881 un modelo de este sistema.

En honor á la verdad, debemos decir que el puente sistema Oppermann se diferencia muy poco del puente de Saigón, cons-

truido en 1869 por la fábrica del Creusot (véase lám. I, figuras 1 y 2).

La disposición y luz de los tramos, el sistema de palizadas y pilotes son casi iguales. Mr. Oppermann ha añadido, sin embargo, á la palizada tipo Creusot dos pilotes agua arriba y agua abajo que sirven de tajamares, y resguardan así los demás pilotes de los choques directos de la corriente y cuerpos flotantes.

El mismo ingeniero ha propuesto también en ríos de poca corriente, y en lechos no expuestos á socavaciones, un sistema de pilotes de plataforma que describiremos en el capítulo IX, y que puede aplicarse al mismo sistema de puente, según se ve en la figura 3.

Puentes sistema Eiffel (lám. VI, figs. 4 y 5).—La inspección de las figuras da una idea bastante clara de la disposición adoptada por la casa Eiffel para puentes de caminos vecinales, y que se ha empleado sobre todo en la Cochinchina francesa y en el Tonkín. La luz de este modelo es de 24 metros, lo que da una distancia de 27 metros entre los ejes de las pilas ó palizadas.

Estas palizadas son dobles, y constituidas cada una de ellas por dos pilotes emplazados verticalmente en el plano de las vigas principales (1).

Se arriostran los 4 pilotes por hierros en ángulo de $60 \times 60 \times 7$, formando aspas en las cuatro caras del prisma rectangular formado por los pilotes.

Los pilotes son hierros redondos de 0^m,20 de diámetro, y se terminan, ya sea con las roscas que describimos en el capítulo IX (lámina XV, fig. 8), cuando el terreno duro se encuentra bastante profundo; ya por una punta sencilla, hincada por percusión, cuando la roca es blanda, pero no socavable; ya, por último, por un patín empotrado en el terreno (lám. XVIII, fig. 6), descrito en el capítulo IX, en el caso en que el terreno de fundación sea roca dura.

En la parte superior, cada pilote se termina por un capitel de fundición con dos nervios formando consola, que dan una superficie de apoyo á las vigas de 0^m,40 de ancho.

(1) Como se ve, esta disposición es análoga á la proyectada para el puente sobre el río de las Piedras el año 1869 por el ingeniero español D. Rafael de Zafra, y á las palizadas de algunos de los puentes italianos que hemos descrito.

Las cabezas ó platabandas inferiores de estas vigas se unen al capitel con cuatro tornillos, dos de cada lado.

Los tramos están constituidos por rectángulos de 3 metros de altura, con dos diagonales formando celosía. Las viguetas se apoyan sobre las cabezas inferiores de las vigas.

Cuando la luz de los tramos se reduce á 15 metros, la palizada, en lugar de ser doble, es sencilla, constituyéndose solamente con dos pilotes, siendo la disposición de las demás partes análoga á la del modelo que acabamos de describir, ligeramete.

Los tramos empleados por la casa Eiffel, en Cochinchina y en el Tonkín, son algo diferentes.

En primer lugar, las vigas sólo están situadas á 3 metros de distancia de eje á eje, y se constituyen con los elementos de los *Puentes portátiles económicos* imaginados y construidos por la casa Eiffel, que se describen en la obra de puentes de Croizette-Desnoyers (1).

Con estas piezas, cuyo peso no excede en ninguna de ellas de 145 kilogramos, se pueden montar muy rápidamente puentes de 6, 9, 12, 15, 18 y 21 metros de luz, cuyos pesos respectivos son de 1.587, 2.330, 3.074, 3.817, 4.559 y 5.302 kilogramos; es decir, que los pesos por metro lineal de superestructura son casi iguales, cualquiera que sea la luz, y oscilan entre 261 y 252 kilogramos.

Estos puentes se han calculado para las cargas de prueba siguientes:

1.º Carga uniformemente repartida de 250 kilogramos por metro cuadrado.

2.º Sobrecarga rodada de 4.000 kilogramos para carros de dos ruedas y de 6.000 para carros de cuatro.

No pasando de 500 kilogramos el peso por metro corriente de los tramos (incluso las sobrecargas) constituidos así, se comprende que las palizadas descritas satisfagan por completo á las pruebas de resistencia.

Así que en menos de ocho años, y á partir de 1880, se construyeron en la Cochinchina francesa 4.000 metros lineales de este sistema de puente con un éxito tan satisfactorio, que fué también adoptado en la colonia del Tonkín muy recientemente

(1) *Cours de construction de ponts*, de Mr. Croizette-Desnoyers, tomo II. página 392.

para 19 puentes, formando una longitud total de 495 metros repartidos en la carretera de Kep á Lang-Son, y entre los cuales el más importante es el de Song-Hoa, de 78 metros de longitud, formado por dos tramos de 30 metros y uno de 18, con la rasante á 10^m,50 sobre el estiaje.

A pesar de las dificultades ocasionadas por el transporte de las piezas, que tenía que efectuarse á lomo muchas veces, de la escasez de operarios hábiles, de las inclemencias del tiempo y del estado sanitario del país, los 19 puentes se montaron en menos de un año (1).

En la mayor parte de estas obras, emplazadas en terrenos fangosos, se emplearon pilotes de hierro dulce, pues los pilotes de hierro fundido primeramente empleados se rompieron algunas veces por choques con barcos ó balsas flotantes de maderos.

También se han sustituido las hélices de fundición por hélices y manguitos de acero fundido que alejan todo peligro de rotura de las roscas, habiéndose llevado éstas algunas veces, como en el puente de Binh-Tay, cerca de Saigón, á profundidades de hinca de 25 á 35 metros.

Puentes sistema Thomas y Foucart (lám. VI, figs. 6 y 7).—Describimos en el capítulo IX el sistema de pilote de plataforma, imaginado por MMr. Thomas y Foucart, para terrenos duros ó donde se encuentre pronto la roca.

Estos ingenieros han estudiado un modelo de puentes para caminos vecinales parecido al empleado por la casa Eiffel y cuyo alzado y sección transversal presentamos en la lámina VI.

La disposición de las palizadas no difiere de la del tipo Eiffel sino en los dos pilotes de aguas arriba y abajo que sirven de taje-mares, en que los arriostramientos en cruz de San Andrés, en lugar de efectuarse con cantoneras rígidas, están constituidos por hierros redondos atirantados con tornillos de presión, y finalmente, en que las cabezas de los pilotes se unen fuertemente con pequeñas vigas armadas en celosía.

Puentes sistema L. Pozzi.—Para aplicar los pilotes de hélice hincados por percusión, inventados por Mr. Lauro Pozzi, y que describimos en el capítulo IX, este ingeniero propone los tipos

(1) *Communication sur l'application des ponts portatifs économiques, système Eiffel, en Cochinchine y en el Tonkin*, por Mr. J. Collin, ingeniero civil. París, 1888.

de puente representados por las figuras 8, 9, 10 y 11 de la lámina VI.

Como se ve, la disposición no puede ser más sencilla.

Cada palizada está constituida por dos pilotes, arriostrados por una cruz de San Andrés.

La distancia de estas palizadas puede llegar á 20 metros.

El puente puede constituirse con vigas rectas en celosía de 2 metros próximamente de altura, apoyándose directamente sobre los capiteles de los pilotes y sosteniendo á su vez las viguetas.

Esta misma disposición puede aplicarse á ferrocarriles; las vigas, y por consiguiente los pilotes, no necesitan estar tan separados: para la vía normal de 1^m,50 puede ser de 4^m,50 (figura 18).

Para los puentes de carreteras, y cuando el nivel de avenidas no alcance grandes alturas, puede adoptarse también para los tramos la disposición de arcos inferiores que se representa en la figura 8, lo que constituye un modelo muy elegante.

Es evidente que las disposiciones para la aplicación de este sistema pueden y deben variar según los casos, ya sea aumentando el número de pilotes en cada palizada, ya haciéndolos dobles, lo que nos parece preferible.

Los pilotes sistema Pozzi se han empleado sobre todo en sustitución de los de madera, para cimientos de estribos y pilas de fábrica, con muy buen éxito, según veremos en los capítulos XI y XIV.

Pero también se han construido recientemente algunos puentes metálicos con palizadas análogas á las que acabamos de describir, obras ejecutadas por el gobierno italiano y que han sancionado de un modo definitivo las excelencias del sistema.

Entre otros, podremos citar ocho puentes sobre el canal de Burana.

Cada uno de ellos tiene una longitud de 30 metros, dividida en tres tramos de 11 y 8 metros, y apoyados sobre cuatro palizadas, suprimiéndose así los estribos de fábrica.

En tres de estos puentes, cuyo firme tiene un ancho de 4 metros, cada palizada consta de tres pilotes. En los otros cinco, que sólo tienen anchos de 3^m,10, las palizadas tienen dos pilotes solamente.

Los tubos de los pilotes son de hierro dulce; las extremidades de los pilotes correspondientes á las hélices son de fundición.

El diámetro del tubo es de 0^m,25, el de las hélices de 0^m,45; la longitud de estas últimas, 3^m,50; su peso, 600 kilogramos.

Los pilotes, que tienen una longitud total de 7^m,50, están hincados en terrenos compuestos de arena y guijo poco resistentes, y no están arriostrados entre sí, sosteniendo cada uno de ellos independientemente las vigas de los tramos.

Puente de Rivadesella (lám. VII, figs. 1, 2 y 3).—El proyecto de este puente, por su gran longitud é importancia, nos hizo estudiar el problema de las fundaciones económicas con gran interés, y natural es por lo tanto que nos extendamos al describirlo algo más de lo que se merece nuestro trabajo, porque siendo la disposición que se ha adoptado para las palizadas diferente de las que hemos examinado, procede que justifiquemos el sistema, ya que lo consideramos, si no mejor, por lo menos práctico, económico y desprovisto de los inconvenientes que pudieran tener algunas de las demás disposiciones.

La carretera del Estado de Rivadesella á Canero, que sigue una gran parte de la costa asturiana, pasando por las villas de Colunga, Villaviciosa, Gijón y Avilés, arranca del pequeño puerto de Rivadesella, atravesando el río Sella sobre un puente de madera de 340 metros de longitud, construido en 1860.

Este puente provisional encontrábase en muy mal estado, no sólo á causa de la podredumbre natural de la madera, sino por la destrucción de sus palizadas por el molusco *teredo*, que ocasionó el hundimiento súbito de algunos pilotes, arrastrando el consiguiente entorpecimiento del tránsito. Correspondíame, pues, como ingeniero encargado de aquella zona, redactar el proyecto de puente definitivo, cuyos trabajos preliminares de sondeo habían sido ya ejecutados por mi predecesor en aquel servicio, el distinguido ingeniero D. Luis Acosta.

Naturaleza del subsuelo.—Los sondeos demostraron que todo el lecho del río Sella, en el emplazamiento del puente, estaba constituido por una capa casi uniforme de arena, mezclada en algunos sitios con guijo suelto; á una profundidad variable de 2^m,50 á 3 metros se encontró una pequeña capa de 20 á 30 centímetros de espesor de aluvión no muy dura, formada por cantos rodados silíceos, y debajo y hasta indefinidas profundidades volvíase á encontrar arena fina.

Por otra parte, el ancho muy considerable de la ría en aquel

emplazamiento impide á las corrientes de marea y de avenidas alcanzar grandes velocidades, no determinándose por lo tanto socavación de ninguna especie, según lo comprueba la existencia y duración del puente de madera, cuyas palizadas están sencillamente constituídas por cinco pilotes hincados en la arena á 2 y 3 metros no más.

Consideramos, pues, el lecho del río como un terreno incompresible, permeable y no sujeto á socavaciones.

Soluciones posibles.—Aunque á primera vista nos pareció indicada la solución de un puente de hierro de pequeños tramos sobre palizadas y pilotes metálicos, como había al pie mismo de la obra canteras buenas y abundantes, proyecté un puente de fábrica con veinte arcos escarzanos de 14^m,60 de luz, rebajados al $\frac{1}{8}$ y diez y nueve pilas, y á pesar de la economía con que calculamos los cimientos, resultó un presupuesto de 700.000 pesetas.

Más caro aún resultaba el anteproyecto de grandes tramos de hierro sobre pilas fundadas por el aire comprimido, y también pasaba de 600.000 pesetas otro proyecto mandado redactar por la Junta consultiva, llevando el emplazamiento del puente un kilómetro aguas arriba, lo que obligaba á construir un trozo nuevo de carretera de 2.500 metros.

No cabía, pues, duda de que la mejor y más económica solución consistía en pequeños tramos de hierro sobre palizadas y pilotes metálicos.

Disposición de los tramos.—Debiendo el puente tener acceso por el muelle del puerto, su rasante debía situarse lo más baja posible, imponiéndose la disposición de tablero inferior.

Por otra parte, debiendo tener éste 7 metros de ancho, incluyendo dos andenes de 1 metro, hubiérase podido proyectar estos andenes en voladizos, situando las vigas principales á 5 metros de distancia, ancho reservado á vehículos y caballerías. Pero esta disposición, que es aceptable cuando las vigas principales tienen grandes alturas, no resulta conveniente en este caso, en que las cabezas de las vigas se encuentran sólo á un metro de altura sobre los andenes, pudiendo las mismas vigas servir de barandillas.

Esta razón y otras de carácter más general, que enumeraremos en el capítulo XIII, nos llevó á situar exteriormente las vigas principales, en la forma que se representa en las figuras 2 y 3 de la lámina VII.

Disposición de las palizadas.—La disposición del tablero impone á su vez la de las palizadas.

En cada pila el puente sólo tiene dos puntos de apoyo, correspondiendo á las vigas principales.

Dividiendo el puente, como más adelante veremos, en tramos de 15 á 20 metros, el peso sobre cada uno de estos puntos de apoyo (en el momento de las pruebas) llega á cerca de 50 toneladas, carga extraordinaria que no se debe acumular en un solo pilote, como en el viaducto de Santarem ó en el puente de Verona (láms. I y II), pues la rosca y la columna necesitarían dimensiones exageradas.

Hemos, pues, repartido esta carga sobre cuatro pilotes para cada viga, lo que reduce á 12.000 kilogramos la carga correspondiente á cada uno de ellos.

De aquí se deduce naturalmente la disposición adoptada para las palizadas, y que claramente aparecen representadas por las figuras 1, 2 y 3. La figura 2 representa la palizada para aquellos puntos en que el lecho del río está á más de 6 metros por debajo de las vigas, y la figura 3 la palizada para la parte central del puente, en que un fuerte banco de arena reduce esta altura.

Sin perjuicio de discutir ampliamente en el capítulo XII las ventajas de esta disposición, comparándolas con las demás, podemos adelantar que con un *costo igual ó menor* que cualquier otra de las palizadas descritas, tiene nuestra disposición las ventajas siguientes: 1.º, la forma piramidal de cada una de las semipilas es absolutamente rígida y estable, permitiéndole esta circunstancia resistir á los esfuerzos laterales que se producen por los efectos de la dilatación ú otros en el sentido longitudinal, y por el viento y el choque de barcos ó cuerpos flotantes en el sentido transversal; 2.º, no necesita arriostramientos entre estas dos semipilas, que tienen de por sí una estabilidad y resistencia suficiente, economizándose sólo por este concepto una gran cantidad de hierro; 3.º, permite emplear sin vacilación alguna pilotes-tubos de hierro fundido, que resisten más y mejor á igualdad de sección que pilotes de hierro dulce, y son, por otra parte, mucho más económicos, sin que el empleo del hierro fundido en esta parte de las palizadas pueda constituir un peligro para la obra, puesto que estos pilotes quedarán siempre en su mayor parte enterrados, y en todo caso por debajo de las mareas bajas.

Distribución de luces.—Una vez estudiada la disposición de la palizada, y no variando sensiblemente las dimensiones de sus piezas entre ciertos límites, se hicieron varios tanteos de distribución de luces para determinar la más económica, calculando los pesos por metro cuadrado de puente para diferentes luces por medio de la fórmula propuesta por Croizette-Desnoyers en su obra (1):

$$y = 8,50 \sqrt{50^2 + (x + 20)^2} - 375,$$

en que y representa el peso por metro superficial de puente para una luz igual á x .

De este cálculo y cuadro resultante que en la Memoria de nuestro proyecto presentamos, pero que es obvio reproducir, se deduce que la luz más económica es la de 15 metros, que es también la adoptada en los puentes de Saigón y Santarem y en los del sistema Oppermann.

Como por las razones que se justifican en el capítulo XIII resultaba conveniente dividir la longitud total de 300 metros en puentes de 50 metros, éstos á su vez se distribuyeron en tres tramos de vigas continuas de 15^m,75 de longitud los extremos y 19^m,15 el tramo central.

La disposición de tramos continuos no tiene aquí el inconveniente de que sean de temer asientos desiguales en las pilas, pues la arena que constituye el subsuelo es compacta y se obtiene así alguna economía, y sobre todo cierta solidaridad entre los tramos muy conveniente, teniendo éstos unos apoyos limitados y de muy pequeña superficie.

La diferencia de longitud en los tramos tiene por objeto, como es sabido, regularizar la carga sobre las distintas palizadas á causa de la reducción de peso que se obtiene en el tramo central con el sistema de vigas continuas.

Descripción de la superestructura.—Los dos estribos extremos son de fábrica, y la distancia entre sus paramentos exteriores es de 302^m,64. Hemos dicho ya que esta distancia está cubierta por seis puentes independientes y completamente iguales, divididos á su vez en tres tramos cada uno.

El examen de la figura 1 de la lámina VII y los detalles en escala de $\frac{1}{20}$ que presentamos en la lámina XXIII dan una idea

(1) *Cours de construction des ponts*, tomo II, pág. 489. París. 1885.

suficientemente clara y precisa de los elementos que constituyen los tramos, no siendo necesario describirlos minuciosamente.

La altura de 2 metros que hemos dado á las vigas principales, no solamente satisface á la regla práctica que aconseja se dé $\frac{1}{10}$ de luz, sino que tiene la ventaja de que evita una barandilla, pues que sobresaliendo 1 metro sobre el andén puede por sí misma desempeñar este papel.

Las platabandas de estas vigas, así como las de las viguetas, están constituidas por el número de chapas necesarias, distribuidas según el diagrama envolvente de los momentos máximos de flexión.

Igualmente, las celosías que tienen 1 metro de diagonal (es decir, un ancho medio para que cumplan con el papel de barandilla que desempeñan) tienen secciones que varían según los esfuerzos constantes determinados en el diagrama.

El tablero está constituido por viguetas á 4 metros de distancia, unidas á las vigas por los montantes verticales de éstas, y siete series de larguerillos, sobre cuyo entrainado se sitúan las placas bombeadas del piso y las chapas estriadas de los andenes.

Sobre aquéllos se extiende una capa de hormigón, á la que se da el bombeo indispensable, y después de extendida una capa de arena uniforme se coloca el piso, formado por filas transversales de tarugos de madera separados por pequeños listones de menos altura; disposición de piso que, como veremos en el capítulo XIII, presenta muy importantes ventajas para largos puentes de hierro.

Por último, los tramos se apoyan sobre placas fijas con articulación de charnela y placas de dilatación. Las primeras se unen á los vértices de las palizadas-pilas y permiten un ligero movimiento de rotación en las grandes flexiones de los tramos. Las placas con rodillos que se apoyan sobre las palizadas extremas permiten la libre dilatación de los extremos de los tramos.

Descripción de las palizadas.—En la lámina XXIV, figuras 1 y 2, presentamos los detalles del modelo pequeño de una de las dos pirámides de las palizadas, que sólo difiere del modelo grande en que éste tiene 6 metros de altura, divididos en cuatro pisos, mientras que el modelo pequeño sólo tiene 4 metros de altura y tres pisos.

Las aristas de la pirámide están constituidas por cuatro hierros angulares de $80 \times 80 \times 10$, unidos en cruz; sección muy

favorable, por su gran rigidez, para resistir á esfuerzos de compresión.

Para asegurar la indeformabilidad de cada pirámide, hierros en T horizontales y en aspas arriostran el conjunto é impiden el pandeo de las aristas.

Siendo la sección de cada angular de 1.500 mm², los 16 angulares de cada pirámide dan una sección total de 24.000 mm². Siendo de 48.354 y 43.706 kilogramos las cargas máximas que corresponden á cada pirámide de palizada-pila y palizada-estribo respectivamente en el momento de las pruebas, prescindiendo del pequeño ángulo de inclinación, el coeficiente de trabajo en los montantes de las pirámides será de:

$$\frac{48.354}{24.000} = 2,015 \text{ kilogramos por mm}^2 \text{ en las pilas;}$$

$$\frac{43.706}{24.000} = 1,82 \text{ kilogramos por mm}^2 \text{ en los estribos.}$$

El pilote circular de alma llena, de igual sección, tendría que tener 0 m,175 de diámetro, dimensión considerable para obtener una barra bien laminada y homogénea, y en todo caso de mucha menor rigidez que el entramado descrito.

Se ve por esta sola comparación cuánto mejor distribuido está el metal, sin aumento de costo, con la disposición adoptada.

Aunque estas pirámides son de por sí completamente indeformables, para mayor seguridad se enlazan los vértices de las de cada palizada con una riostra formada por un alma de 300 × 8 y dos angulares de 60 × 60 × 7, que unirán invariablemente los capiteles de las dos placas de apoyo.

Las palizadas-estribos sólo difieren de las palizadas-pilas en que aquéllas tienen dos de sus montantes en forma de ménsula (figura 1), para aumentar la superficie de apoyo de la doble placa de dilatación que tienen que llevar.

Los pilotes, cuyas cabezas se unen invariablemente al marco inferior de las pirámides, están emplazados en los vértices de un cuadrado inscrito en un círculo de 2 metros de diámetro en las palizadas modelo pequeño y de 3 metros de diámetro en las palizadas modelo grande.

Son estos pilotes de fundición (lám. XVI), menos la rosca, que es de acero fundido.

Se describen en el capítulo IX, § 5.º, y se calculan sus dimensiones en el capítulo X.

Estos pilotes se hincarán en la arena unos 3 ó 4 metros, de modo que sus cabezas sobresalgan algunos centímetros de las bajas mares de agua viva, á fin de permitir el montaje de las palizadas fuera de agua y la renovación de sus pinturas cuantas veces sea menester.

Debemos añadir que los pilotes de fundición, que quedarán constantemente sumergidos, deberán cubrirse previamente de un betún asfáltico que detallamos en el capítulo I.

Además se colocará en cada uno de ellos un hierro redondo de 0^m,050 de diámetro, y se rellenará el cilindro anular que queda con hormigón fino bien comprimido.

No creemos excusadas estas precauciones para pilotes que han de quedar para siempre sumergidos.

Siendo de 17.665 ^m/_m² la sección de cada uno de los tubos y de 12 088 kilogramos la carga máxima que les puede corresponder, vemos que es insignificante el coeficiente de trabajo á que estarán sometidos.

Igualmente, teniendo la rosca 0^m,80 de diámetro, es decir, una superficie total de 0^m,502, la presión máxima sobre el terreno será de 2,50 kilogramos por centímetro cuadrado, muy inferior á la carga que puede resistir impunemente un suelo de arena, al que, como es sabido, se suelen aplicar coeficientes de 4 y hasta de 6 kilogramos por centímetro cuadrado.

Las figuras 3 y 4 de la lámina XXIV representan los detalles de la pirámide triangular, que puede emplearse para puentes de menos luz ó menor ancho y peso, como son, por ejemplo, los de las figuras 8, 9 y 10 de la lámina VII.

Puede aplicarse en un gran número de casos, razón por la que hemos creído útil presentar su estereotomía detallada.

Los pesos de estas dos disposiciones de castilletes, prescindiendo de los tubos, cuya altura es variable, son los siguientes:

Pirámide cuadrangular de 6 metros.	2.352 kilogramos.
— — de 4 metros.	1.383 —
— triangular de 4 metros.	1.094 —

El resumen de los pesos de los tramos y palizadas figura en el anexo núm. 2, razón por la que consideramos inútil repetirlo aquí.

Puente para ferrocarriles económicos, sistema Ribera (1) (lámina VII, figs. 4 y 5) (detalles en la lám. XXV).—Cuando el piso de la vía es superior, y la distancia entre las vigas principales, y la distancia entre las vigas principales no pasa de 2 metros, las pirámides que sirven de pila llegan á tocarse, y es preferible entonces establecer entre ellas cierta solidaridad.

Se obtiene así la disposición representada por las figuras 4 y 5 que hemos propuesto para varios puentes de ferrocarriles económicos, cuyos proyectos han sido aprobados por la superioridad (2).

La considerable economía obtenida con este sistema nos mueve á presentar en la lámina XXV los detalles de nuestro proyecto, que puede utilizarse como modelo corriente en un gran número de casos.

El ancho de la vía es de un metro entre bordes interiores de carriles, como en la mayor parte de los ferrocarriles de vía estrecha, lo que da 1^m,05 entre ejes de carriles.

Los tramos son de 10 metros, y las vigas de alma llena, con montantes de metro en metro, tienen uno de altura. Los detalles se aprecian suficientemente en las figuras. Estos tramos, calculados para el paso de dos máquinas-tenders de 27,5 toneladas (casi el tipo de más peso que

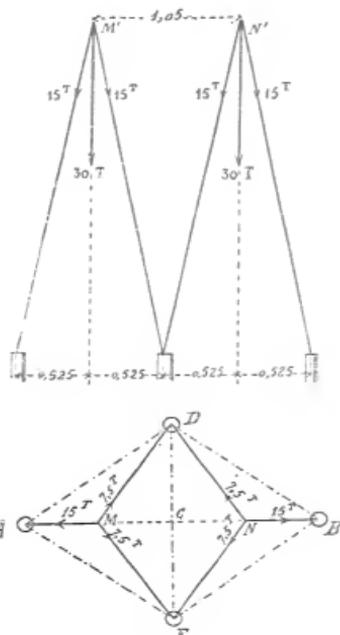


Fig. 4.

(1) Al denominar *sistema Ribera* la disposición que hemos imaginado no tenemos la pretensión de haberla inventado, pues que pudiera ocurrirnos lo que á los llamados sistemas Oppermann y Eiffel, cuyas disposiciones, según hemos visto, habían sido empleadas con anterioridad al bautizo y patente con que quisieron caracterizarlas sus pseudoinventores. Sólo queremos distinguir nuestro sistema de los demás conocidos hasta el día.

(2) Proyecto de tranvía de vapor de Torrelavega á Infesto y Covadonga.

circula en esta clase de vías), sólo pesan 425 kilogramos por metro lineal, según luego se deduce de la cubicación que presentamos en el anexo núm. 3.

Para el caso en que se disponga de muy poca altura entre la

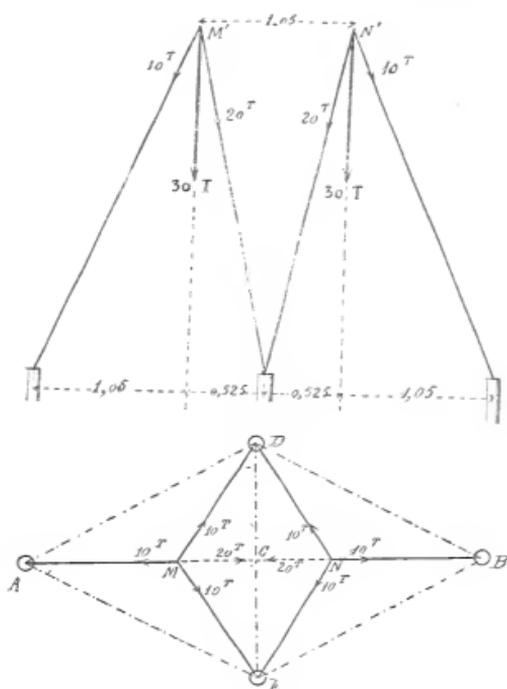


Fig. 5

rasante y la cabeza inferior de las vigas, hemos estudiado también el modelo representado por la figura 3, que, salvo la disposición de vigas gemelas para cada carril y su mayor peso por metro lineal de tramo, no se diferencia del tipo corriente, permitiendo utilizar la misma pila, según se ve en el plano.

Esta pila consiste en dos pirámides triangulares, cuyos montantes son simples hierros en ángulo que se arriostran con dos

marcos horizontales de hierro en T ó angulares, y si se quiere con pletinas en celosía, según se indica en las figuras, aunque no nos parezca necesario, dada la pequeña altura de los pisos y la natural rigidez de los montantes. Estos montantes vienen á empalmarse con cuatro pilotes-tubos de hierro fundido, hincados verticalmente, y á cuyas rosca se les da el diámetro y paso que corresponda á la clase de terreno. Caben dos soluciones para distribuir la carga y sobrecarga en los montantes y pilotes, y las hemos representado en planta y alzado en los diagramas adjuntos.

Con la primera solución las pirámides no son regulares, puesto que las proyecciones de los vértices M y N, en vez de caer en los centros de gravedad de las bases, están situadas en los puntos medios de las medianas AC y BC. La compresión sobre los montantes tajamares MA y NB es doble de la que actúa sobre los otros 4 montantes, pero en cambio la carga es igual sobre los 4 pilotes. Con la segunda solución se obtiene la igualdad de compresiones en los 6 montantes construyendo dos pirámides regulares, pero la carga sobre los pilotes tajamares es la mitad de la que actúa sobre los otros dos pilotes. Cualquiera que sea la solución, puede darse á cada una de las piezas la sección que le corresponda, según el trabajo á que está sometida.

Así, por ejemplo, en nuestro proyecto, en que hemos preferido adoptar la primera solución, para tener un sólo modelo de pilote, la carga y la sobrecarga correspondiente á una pila, en el caso más desfavorable, será:

Peso de 10 metros de longitud de puente.	4.250 kilogramos.
20 metros de carriles con bridas y escarpas.	500 —
Largueros y piso de madera.	250 —
2 locomotoras de 27.500 toneladas.	55.000 —
Total.	60.000

Estas 60 toneladas se reparten en la forma representada por el primer diagrama (prescindiendo del coeficiente $\frac{1}{\cos \frac{1}{2} \Delta}$ producido por la pequeña oblicuidad de los montantes, y que en este caso se aproxima á la unidad).

Habrá, pues, que dar á los montantes tajamares una sección doble que la de los demás montantes. Con las secciones que hemos adoptado, resulta que el trabajo por milímetro cuadrado será aproximadamente en las diferentes partes de la pila:

	DIMENSIONES en mm ² .	SECCIÓN en mm ² .	COMPRESIÓN en kgrs.	TRABAJO — Kilogramos por mm ² .
Montantes de tajamares	140 × 140 × 18	5.000	15.000	3,00
Montantes centrales. . .	110 × 110 × 12	2.500	7.500	3,00
Pilotes-tubos.	D.º: 200 — E. p. 10	5.969	15.000	2,70
Rosca de pilotes.	D.º: 800	502.600	15.000	0,03

Vemos, pues, que el trabajo á que estarán sometidos los diferentes elementos de la pila es inferior al que pueden resistir ímpunemente. A pesar de esto, el peso total de nuestro sistema de puente es muy reducido, según se desprende del siguiente resumen de la cubicación:

Un tramo de 10 metros.	}	2 vigas principales.	2.844 kilogramos.
		10 ménsulas de andén.	460 —
		5 marcos de arriostramiento	175 —
		Barandilla.	108 —
		Arriostrado horizontal.	163 —
		Total hierro laminado.	3.750
Placas de apoyo.	Hierro fundido.	500 kilogramos.	
Una pila	}	— laminado.	1.102 —
		— fundido.	1.465 —

En el capítulo XII compararemos nuestro sistema con los demás desde el punto de vista económico.

Aplicaciones de nuestro sistema de palizadas á los puentes para ferrocarriles que hemos examinado.—En las figuras 6 y 7 de la lámina VII representamos la disposición que hubiera podido darse á las palizadas del puente sobre el río Muga, descrito en el capítulo anterior, y cuyos detalles serían análogos á los de la palizada que acabamos de describir.

Que quedarían así las palizadas más rígidas y en mejores condiciones de resistencia, no nos parece dudoso.

Veamos cómo pueden construirse *por el mismo precio*, y para fijar la atención supongamos que se trata de sustituir la palizada sencilla del puente sobre el Muga por una de nuestro sistema y de igual costo, pues del mismo modo pudiéramos proceder en todos los demás modelos de puentes examinados.

Los pilotes de este puente son de hierro dulce, circulares, de 125 ^m/_m de diámetro. Entre los dos presentan una sección de resistencia de 24.542 milímetros cuadrados.

La palizada de nuestro sistema (véase lám. XXV) tiene 6 montantes; si se le quiere dar la misma resistencia, los montantes tajamares deberán tener una sección de 6.135 mm², que se obtiene con un hierro angular de 150 × 50 × 22, y los montantes centrales una sección de 3.062 ^m/_m², que se obtiene con un angular de 120 × 120 × 14.

Análogamente para los pilotes, si se quiere que sean de hierro dulce, habrá que sustituir los dos de 125 m/m de diámetro por cuatro pilotes de 89 m/m de diámetro, que tienen próximamente la mitad de la sección de aquéllos.

Si, lo que es preferible, se emplearan pilotes-tubos de fundición (quedando completamente enterrados, no presentan ningún inconveniente), y si tenemos en cuenta que el precio de la fundición está en la relación aproximada de $\frac{2}{3}$ con la del hierro dulce, podremos sustituir los pilotes de este último metal con tubos cuya sección total sería de $\frac{24.542 \times 5}{3} = 40.903 m/m^2$.

Cada uno de los cuatro tubos tendría una sección de 10.225 m/m^2 ; por ejemplo, un diámetro exterior de 0^m.20 con un espesor de 20 m/m ; debiéndose observar que de este modo los cimientos de la palizada tendrían una resistencia á la *compresión* y á la *oxidación* de $\frac{2}{3}$ más que con los dos pilotes que lo constituyen en la obra.

En cuanto á los arriostramientos, capiteles y roscas, fácilmente se comprende que no puede haber diferencia sensible de costo entre una y otra disposición.

Idénticas consideraciones podemos hacer para demostrar que las palizadas empleadas en los puentes del ferrocarril del Sur de Francia (lám. V) pudieran también ser sustituidas con gran ventaja por las de nuestro sistema, conviniendo entonces adoptar la disposición representada por las figuras 8 y 9 de la lámina VII, cuyos detalles serían completamente iguales á los representados en las figuras 3 y 4 de la lámina XXIV.

Para los puentes del Valle de Frejus, cuyas palizadas están constituidas por cuatro pilotes de 120 m/m de diámetro, con una sección total de 45.238 m/m^2 , las secciones de los hierros para la palizada de nuestro sistema de igual costo pudieran ser:

6 montantes formados por 4 angulares de 90 \times 90 \times 11, con una sección total de 44.640 m/m^2 ;

6 pilotes de hierro dulce de 100 m/m de diámetro, con una sección total de 47.118 m/m^2 , ó 6 tubos de fundición de 25 m/m de espesor y 180 de diámetro, que tienen una sección total de $\frac{2}{3}$ mayor que los de hierro dulce, es decir, igual costo.

Esta última disposición de palizada puede también aplicarse á los puentes para caminos vecinales de piso inferior, sustituyendo ventajosamente á los sistemas Oppermann, Eiffel, Tho-

mas y Pozzi, que hemos anteriormente examinado. La figura 9 de la lámina VII, por ejemplo, representa el puente sistema Eiffel de la lámina VI sobre una de nuestras pilas.

El número de combinaciones á que se presta nuestra palizada piramidal es tan grande como los casos que puedan en la práctica presentarse; pero en resumen, puede decirse que, cuando el tablero es inferior, deben aislarse las pirámides correspondientes á cada viga, haciéndolas cuadrangulares, como en el puente de Rivadesella, ó triangulares, como en la figura 9, según que la luz y el peso de los tramos lo aconsejen, y que cuando el tablero del piso ó de la vía es superior, conviene casi siempre enlazar las dos pirámides en la forma representada por las figuras 5 y 6.

CAPÍTULO VII

MUELLES Y EMBARCADEROS SOBRE PILOTES METÁLICOS

- 1.—*Consideraciones generales sobre los muelles y embarcaderos.*
- 2.—*Descripción de los principales muelles construidos sobre pilotes metálicos.*—Muelle de Courtown (Irlanda).—Dique rompeolas de Portland (Inglaterra).—Muelle en la embocadura del Delaware (Estados Unidos).—Muelle para la Turquía asiática.—Embarcadero para el Congo.—Muelle de Valparaiso (Chile).
Muelles españoles.—La Coruña. —Puntales (Cádiz).—Mayagüez (Puerto Rico).—Villagarcía (Pontevedra).—Portugalete (Bilbao).—Bayona (Pontevedra).—Vigo (Pontevedra).—La Rábida (Huelva).—Junta de Obras del Puerto de Huelva.—Río Tinto (Huelva).
- 3.—*Estudio comparativo de los muelles construidos sobre pilotes metálicos.*—Disposiciones en planta.—Materiales que deben emplearse.—Disposiciones de los pilotes.—Disposiciones de las palizadas.—Disposiciones de los tableros.—Defensas y empanados de madera.—Costo de los muelles metálicos.

§ 1.—Consideraciones generales sobre los muelles y embarcaderos.

Es frecuentemente necesario construir en los puertos espigones que avancen en el mar, ya sea para formar un dique de encauzamiento ó de avance, ya para establecer un embarcadero con calado suficiente y fuera del alcance de las olas y resacas, más sensibles en las orillas, ya, por último, para utilizarse como muelles de carga y descarga.

Los muelles de fábrica resultan muy costosos, y sólo pueden justificarse en muy determinadas circunstancias. Su elevado precio no basta para garantizar su estabilidad y solidez, y pudieran citarse gran número de muelles construidos sobre playas de arena, socavables por lo tanto, en los que se producen continuos asientos y movimientos que obligan á frecuentes y costosas reparaciones.

La madera se ha empleado varias veces; pero su precio, cada día mayor, y sobre todo la rápida destrucción del material, no sólo bajo la influencia de los agentes atmosféricos, sino por los

estragos que causan los moluscos, el *teredo* y la *limnoria*, aun cuando se inyecten las piezas con abundancia de creosota, hacen desechar hoy día este material en las que han de construirse con carácter permanente.

Se ha recurrido, pues, al empleo del hierro, y gracias á los pilotes metálicos se consigue establecer con gran *celeridad* y *economía* muelles duraderos y resistentes.

Las plataformas ó muelles contruídos sobre palizadas de pilotes metálicos no presentan, como los muelles de fábrica, obstáculo alguno á las corrientes ó resacas, y al no producir remolinos ni choques de la ola, evitan las socavaciones del suelo en los cimientos de las obras.

Pueden trasladarse fácilmente de un sitio á otro, según convenga; se pueden prolongar ó ensanchar cuando sea necesario, ó pueden multiplicarse en cualquier dirección, sin modificar el régimen del puerto, gastando así sólo las sumas estrictamente necesarias para el servicio exigido.

Como dice muy bien el ingeniero Sr. Albelda, en las notas que nos remitió con los datos de los muelles de Huelva, la característica de este sistema de muelle es la explotación intensiva y verdaderamente industrial, que marca un tipo modernísimo, distinto en absoluto de los que hasta ahora se vienen construyendo en muchos puertos.

En vez de la línea extensa de muelles de fábrica obtenidos á fuerza de millones, en donde se extienden las mercancías sobre una gran superficie de tinglados ó más comúnmente á la intemperie, estacionando durante muchos días los buques para tomar una carga exigua con pérdida considerable de estadías, y teniendo que hacer todas las operaciones de trasbordo con sus winches propios ó todo lo más con grúas alquiladas que dan muy poco rendimiento, se pueden construir espigones metálicos que con poca superficie presentan una gran línea de frente, y dotándolos de medios poderosos de trasbordo permiten un tráfico excepcional, muy superior al que suelen tener los muelles de fábrica.

Todos los depósitos, tinglados y vías de maniobra se construyen en tierra con considerable economía, y queda el muelle reducido á una estación marítima de ferrocarril, donde las mercancías sólo permanecen los minutos necesarios para el trasbordo. Así, por ejemplo, se ha obtenido en el último año econó-

mico en el muelle de la Junta de Obras del Puerto de Huelva, que más adelante describiremos, un tráfico de más de 300.000 toneladas, con 356 buques y un rendimiento de más de 65.000 pesetas, lo que representa un crecido interés al capital invertido, á pesar de que las tarifas son muy reducidas (1).

Si todas estas ventajas de los muelles metálicos son efectivas en los puertos de los países civilizados, más evidentes aún son para las colonias y países de Ultramar, cuyas costas resultan frecuentemente inabordables por la violencia de las olas que rompen contra las playas, en que es menester construir las obras con rapidez y constituir las con elementos de fácil transporte y montaje, pues ni hay operarios, ni talleres, ni medios de transporte, presentando entonces los pilotes metálicos indiscutibles ventajas y economía.

Todas estas razones justifican sobradamente el gran número de muelles que se han construído de este sistema en cuanto se han podido apreciar, y si sólo en España nos fijamos, se observa que en Galicia se han construído sucesivamente en la Coruña, Villagarcía, Vigo y Bayona, y que en el puerto de Huelva hay también cuatro muelles importantes construídos en épocas distintas.

Vamos ahora á examinar los más interesantes modelos, empezando por la primera aplicación hecha por el inventor Mitchell el año 1847.

§ 2.—Descripción de los principales muelles construídos sobre pilotes metálicos.

Muelle de Courtown (Irlanda) (lám. VIII, fig. 1).—En la lámina XXX se presenta el alzado del muelle, cuya sección vemos en la lámina VIII, figura 1.

Tiene una longitud de 80 metros y 16^m,26 de ancho.

El piso, apoyado directamente sobre los pilotes, lleva dos puentes levadizos con las mareas, que sirven de puentes para la inmediata comunicación con los barcos de pesca y cabotaje que frecuentan el puerto.

Los pilotes, situados á distancias de 5^m,42 transversal y lon-

(1) Por cada tonelada de mineral tomado en la estación del ferrocarril de Zafrá á Huelva y entregado en el buque sólo cuesta 0,50 peseta y por cada tonelada de harina 1 peseta

gitudinalmente, están sólo arriostrados por una cruz de San Andrés en cada uno de los planos verticales.

En el capítulo XIV explicaremos el procedimiento empleado para la hinca de los pilotes y montaje de este muelle, que á pesar de su antigüedad continúa prestando excelentes servicios.

Dique rompeolas de Portland (Inglaterra).—Esta inmensa obra, empezada en 1847 por el ingeniero Rendel é inaugurada en 1849 por el príncipe Alberto, se compone de dos diques, teniendo respectivamente 1.830 y 457 metros, que se encuentran en ángulo obtuso, pero dejando entre sí un paso de 122 metros. Estos diques forman una vasta rada artificial de tres millas inglesas de superficie, en la que pueden fondear los navíos.

Para el establecimiento de estos diques se clavaron filas paralelas de cinco pilotes separados $9^m,15$. Sus cabezas estaban unidas por durmientes, sobre los que se colocaron traveseros formando un vasto puente con muchas vías de hierro. A medida que avanzaban las obras en el mar, numerosos convoyes de vagones llevaban de la montaña grandes cantidades de piedra que se echaba entre los pilotes.

Los pilotes adoptados fueron iguales al modelo representado por la figura 13, lámina XIV, y se componían de maderos de $0^m,30$ de escuadra, armados en su parte inferior de un regatón de fundición con una rosca de $0^m,76$ de diámetro; se elevaban sobre las bajas aguas $6^m,72$, y estaban introducidos $13^m,40$ en el mar.

Se empleó para la hinca un cabrestante análogo al de Mitchell. Los trabajos, impulsados con actividad, se terminaron en dos años, y este método de construcción de rompeolas puede utilizarse ventajosamente para el engrandecimiento de muchos puertos, evitando obras costosas y complicadas.

Muelle en la embocadura del Delaware (Estados Unidos) (lámina VIII, fig. 2).—Tiene este muelle, cuya sección transversal se representa en la figura, ochenta y una palizadas, de las cuales las cincuenta y cuatro primeras compuestas de tres pilotes y las veintisiete últimas de cinco pilotes, como se ve en la figura.

Los pilotes, algunos de los cuales alcanzan 20 metros de longitud en una sola pieza, atraviesan capas alternativas de arena y fango, hasta encontrar, á profundidades de hinca que llegaron á 10 metros, una capa resistente de grava.

Hubo necesidad de arriostrar con solidez estos largos pilotes, así es que además de las cruces de San Andrés en planos verticales, transversal y longitudinalmente (estas últimas sumergidas debajo del agua á fin de no impedir el paso de los hielos), se añadieron otras aspas horizontales que arriostraron los capiteles de fundición de los pilotes.

El pilote de rosca de este muelle se describe en el capítulo IX, § III (lám. XIV, fig. 19).

El tablero es de madera y lleva cuatro vías.

Muelle para la Turquía asiática (lám. VIII, figs. 3, 4 y 5).—Esta obra, construída el año 1893 por la fábrica belga de Braisne-le-Comte, tiene 70 metros de longitud y una disposición análoga á las ya examinadas.

Difiere, sin embargo, en que los pilotes, en lugar de ser de hierros redondos, son de tubos estirados de hierro dulce de 140×12 . Como hubo que instalar una grúa de 5 toneladas en el extremo del muelle, fué menester reforzar éste con cinco pilotes suplementarios que sostienen directamente la grúa.

Los 70 metros de longitud están divididos en tramos de 5 metros, arriostrándose vertical y horizontalmente los pilotes con cruces de San Andrés y tirantes formados por hierros en ángulo.

En el sentido transversal del muelle sólo hay dos pilotes á 6 metros de distancia; dos vigas longitudinales sostienen las viguetas transversales, que á su vez llevan cuatro larguerillos en doble T. Encima de este entramado viene el piso de madera.

Embarcadero para el Congo (lám. VIII, figs. 6, 7 y 8).—Más sencillo aún es este embarcadero, construído en 1882 por la misma fábrica para la nueva colonia belga del Congo.

Tiene una longitud de 55 metros, dividida en once tramos de 5 metros. Cada palizada sólo consta de dos pilotes de rosca de hierro dulce, á $4^m,50$ de distancia.

En el extremo del muelle se ha colocado un pilote central suplementario, que ayuda al sostén de una grúa de 1.500 kilogramos.

El sistema de arriostramiento y la disposición del tablero son análogos á los del muelle descrito anteriormente.

Una escalera lateral colocada en el extremo del muelle y dos vías Decauville de $0^m,50$ de ancho completan el conjunto de esta obra, tan sencilla como económica, y cuya disposición es

susceptible de ser ventajosamente imitada en un gran número de colonias.

Muelle de Valparaíso (Chile) (lám. VIII, fig. 9).—Esta obra, de la que sólo presentamos una sección transversal, por ser igual en todas las partes de su longitud, evidencia las considerables profundidades que se pueden alcanzar con los pilotes de rosca, que llegan á tener en el extremo del muelle 32 metros de longitud, de los cuales 20 de agua.

Los pilotes necesitan entonces 0^m,40 de diámetro, y están constituidos por hierros zorés de palastro, roblonados entre sí y formando tubos de 4 y 6 metros de longitud.

A pesar de tan extraordinaria longitud, sólo están arriostrados estos pilotes en su parte superior por cruces de San Andrés y tirantes.

El muelle, que tiene 180 metros de longitud, está dividido en 36 tramos de 5 metros. Lleva una defensa colgada de madera y cinco vías recorren toda la longitud de este importante muelle, construido en 1890 por la fábrica de Braisue-le-Comte.

MUELLES ESPAÑOLES

En nuestro país se encuentran muy numerosos y notables ejemplos de muelles construidos sobre pilotes de rosca, empleándose con gran éxito y extraordinaria economía para embarcaderos, diques de encauzamiento y cargaderos de minerales. También se ha utilizado este sistema en todos los establecimientos balnearios de Gijón, Luanco y otras varias playas concurridas, y se ha proyectado un grandioso palacio de cristal para la Concha de San Sebastián, parecido á la famosa Jetée-Promenade de Niza. Describiremos las construcciones más interesantes de este sistema.

Muelle embarcadero de la Coruña (lám. IX, fig. 1).—Es el primero construido en España. Los pilotes son tubos de hierro fundido, que se encuentran á 3^m,33 de distancia, mientras que las palizadas se han situado á 4^m,80.

Los pilotes de una misma palizada se enlazan con dos filas de cepos metálicos, completándose el arriostramiento con aspas de hierros redondos, situados en los planos verticales transversal y longitudinalmente.

Las vigas y viguetas del tablero son de madera, y la cabeza del muelle está envuelta por un entramado de pilotes de madera hincados en el terreno y tres carreras horizontales.

Muelle de Puntales (Cádiz) (lám. IX, fig. 2). — Este muelle, construido en la bahía de Cádiz, es uno de los más importantes que se han establecido, pues mide una longitud total de 700 metros.

Fué su construcción dirigida por el distinguido ingeniero Excmo. Sr. D. Antonio Sanz, actual subdirector de Obras públicas, y desde hace unos diez años que se terminó presta excelentes servicios. La plataforma ó muelle propiamente dicho, cuya sección transversal en su extremidad representa la figura 2, es un rectángulo de 205 metros de largo por 19^m,60 de ancho, que se apoya sobre 34 palizadas de á 6 pilotes cada una, situados á 3^m,50 de distancia; las palizadas á su vez están separadas 6 metros, menos las dos últimas, que están á 3^m,50.

Esta plataforma se une á la costa por un puente, que consiste en la prolongación en curva circular de las dos filas centrales de pilotes, y toma tierra por la parte sur del castillo de Puntales y próximo á él. Tiene este puente una longitud de 498 metros, dividida en 83 palizadas.

La superestructura ó tablero está constituida por vigas de doble T, de 0^m,50 de altura, que se apoyan sobre los capiteles de los pilotes y viguetas transversales, de 0^m,332 de altura y 19^m,60 de longitud, sobre las que se apoyan los largueros de madera de 6 vías férreas de ancho normal. Placas bombeadas entre los carriles y un entablonado completan el tablero.

Las vías se unen con agujas y placas giratorias, y en el puente sólo queda una sola vía.

Los pilotes son de fundición, de 0^m,26 de diámetro interior, divididos en trozos que se empalman á brida, de 3^m,50 de longitud; son muy parecidos á los del puente sobre el río de las Piedras (lám. XVI, figs. 4 y 5). Se arriostran con hierros en U, en la forma que se ve en la figura y lo mismo longitudinalmente.

Su peso es aproximadamente de:

Hierro fundido.	1.220.000	kilogramos.
— dulce.	1.250.000	—
Carriles (25 kilogs. por metro).	90.000	—
Total.	2.560.000	

Muelle del puerto de Mayagüez (Puerto Rico) (lám. IX, figuras 3, 4, 5 y 6).—La fábrica belga de Braisne-le-Comte ha construido, para nuestra colonia de Puerto Rico, un gran muelle, de 92 metros de longitud, que afecta en planta la disposición representada por la figura 6, y de la que presentamos los más interesantes detalles en la lámina XXVI.

Todo el muelle se apoya sobre 108 pilotes de rosca y 20 de plataforma.

Los pilotes son de hierros redondos de 0^m,110 de diámetro y están situados á 4 metros de distancia en los dos sentidos. Se arriostan verticalmente por cruces de San Andrés, constituidas por hierros angulares de 80×50×8, y horizontalmente por angulares también de 70×70×8, que enlazan los capiteles de fundición de los pilotes.

La mayor longitud adoptada para las barras fué de 7 metros, y como muchos de los pilotes alcanzaban longitudes de 14 metros, hubo que empalmarlas con manguitos de acero de 0^m,70 de longitud y 0^m,170 de diámetro.

Los pilotes, como hemos dicho, se terminaban con roscas de *acero fundido* de 1^m,250 de diámetro, ó con plataformas de hierro fundido de 0^m,500 de diámetro, que se representan en la lámina de detalle.

Se emplearon roscas cuando había que atravesar debajo del agua las espesas capas de fango y margas para alcanzar la de arcilla compacta, que recubría á su vez la roca caliza, sobre la que había que apoyar la obra; pero para las cinco palizadas de la orilla bastó empotrar las plataformas en la roca, que aparece al descubierto.

Sobre el capitel de fundición de cada pilote se apoyan las vigas en doble T y alma llena, que, colocadas en el sentido transversal al muelle, sostienen el tablero, constituido á su vez por viguetas longitudinales en doble T, de metro en metro, y por un entablonado de madera, cuya disposición aparece claramente detallada en las figuras 1, 2 y 3 de la lámina XXVI.

Para amortiguar el choque de los barcos contra los pilotes ó el tablero, se ha envuelto la mayor parte del muelle por una defensa colgada, formada por maderos verticales de 2^m,10 de longitud (fig. 2).

Esta obra, construída en 1884, es una de las más sencillas y bien estudiadas.

Muelle de Villagarcía (Pontevedra) (lám. IX, figs. 7 y 8).—En el pequeño puerto de Villagarcía ha construido el Estado un muelle en 1882, al que, por la muy escasa pendiente de la playa, ha sido necesario dar una longitud de 380 metros para obtener en su extremo el calado suficiente para el atraque de los buques.

Todo el tablero y el piso es de madera, siendo de hierro dulce los pilotes y sus arriostramientos, que son hierros en ángulos para las cruces de San Andrés situadas en los planos verticales y hierros en U los tirantes horizontales.

El muelle propiamente dicho sólo tiene una longitud de 25 metros con un ancho de 18; el resto lo constituye un puente de acceso, con un ancho de 6 metros.

La disposición es idéntica á la de los muelles ya descritos; los pilotes que llevan rosca de fundición de 0^m.762 de diámetro, están á 5 y 3 metros de distancia en el sentido longitudinal y transversal respectivamente.

El extremo del muelle está envuelto, como el muelle de la Coruña, por un entramado de madera, constituido por pilotes verticales y tres filas de cepos horizontales que lo resguardan de los choques. Lleva dos escaleras en los chaflanes y dos grúas de 2.000 kilogramos en los ángulos salientes.

Esta obra, proyectada por los ingenieros de la provincia de Pontevedra, ha sido construida por la fábrica belga de Braisnele-Comte; pero la hinca de los pilotes, acerca de la que damos algunos detalles en el capítulo XIV, se ha efectuado por administración.

Dique de Portugaleta (Bilbao) (lám. X, figs. 1 y 2).—Para encauzar la ría de Bilbao, y aumentar al propio tiempo el calado de su barra, se hacía preciso la construcción de un dique que, arrancando en Portugaleta, se prolongara unos 800 metros por la margen izquierda, y después de estudiar los diversos sistemas de diques que hubieran podido aplicarse, se decidió el distinguido ingeniero director de la Junta de Obras del Puerto de Bilbao, D. Evaristo de Churruca, por constituir el dique en la forma siguiente:

1.º Una *armazón metálica* fundada sobre pilotes de rosca, la cual, á la vez que sirviera de andamiaje auxiliar para la ejecución de la escollera de basamento y macizo superior, que sólo había de llegar á la altura de las pleamares, quedase como su-

perestructura definitiva para formar el piso del muelle, situado á 7^m,50 sobre bajamar equinoccial, en cuyo extremo, que había de tener 12 metros de anchura, se estableció la plataforma y torre de señales que se describe en el capítulo VIII (lám. XIII, figura 6).

2.° El dique de encauzamiento propiamente dicho, constituido por un basamento de escollera, sobre el que se asentaría un macizo de hormigón hidráulico hasta las pleamares equinociales (lámina X, fig. 2).

Nos ocuparemos solamente de la armazón metálica, cuyos detalles presentamos en escala de $\frac{1}{20}$ en la lámina XXVI.

El muelle tiene 139 tramos, de los cuales los 127 primeros tienen 6 metros de luz, reduciéndose á 3 en los 12 últimos tramos.

Cada palizada consta solamente de dos pilotes de hierro dulce de sección hexagonal, de 0^m,100 de diámetro, con talud de $\frac{1}{10}$. Una cruz de San Andrés de hierros redondos, atirantados con tornillos de presión y tirantes horizontales formados por hierros en doble T, arriostan el conjunto.

El tablero está constituido por cuatro hierros en U pareados, sobre los que se apoyan viguetas situadas á 1 metro de distancia en doble T. Dos vías de 1 metro de ancho, con carriles Vignole de 20 kilogramos por metro lineal, un entablonado de 25 ^m/_m de espesor y ligeras barandillas completan la plataforma.

El enlace de las vigas longitudinales con los pilotes se efectúa por medio de un capitel y un platillo superior, ambos de hierro fundido, unidos á los pilotes respectivos y uno con otro por medio de dos tornillos principales de 40 ^m/_m de diámetro, y otros dos de 30 ^m/_m en dirección transversal al muelle. La rosca del pilote es de hierro fundido y tiene 0^m,60 de diámetro.

Esta obra, construída por la fábrica La Maquinista Terrestre y Marítima de Barcelona, ha prestado excelentes resultados, y el efecto del dique en la barra ha sido tan extraordinario que, en lugar de 1^m,14 de calado que había en 1878, la profundidad mínima del talweg de la barra alcanza hoy cerca de 5 metros.

Con objeto de evitar los desperfectos que en la armazón metálica habían producido algunos vapores que, empujados por la marejada, fueron á chocar contra la extremidad del dique, se han reformado los 200 últimos metros, construyéndolos de fábrica en toda la altura.

El peso total del hierro colocado en obra, comprendiendo en él los 600 metros de muelle y la torre de señales con que termina, es el siguiente:

Hierro forjado.	848.460 kilogramos.	
— fundido.	111.182	—
— maleable.	28.494	—
Acero fundido (carriles).	63.698	—
Total.	1.051.834	

El costo total de la obra, incluyendo todas las escolleras, macizos de hormigón y los 200 metros de dique construídos de fábrica, ha sido de 2.931.536 pesetas; es decir, un promedio de 3.664 pesetas por metro lineal; costo muy pequeño con relación á la importancia y resultado de la obra, y que demuestra la perfecta utilización que puede darse á los muelles sobre pilotes metálicos para construir diques y rompeolas.

Muelle de Bayona (Pontevedra) (lám. X, figs. 3, 4 y 5).—Se está construyendo en el puerto gallego de Bayona el muelle de 90 metros representado por las figuras y proyectado por el ingeniero de caminos D. Enrique Galán.

La disposición no puede ser más ligera, y los detalles del puente que representamos en la lámina XXVI (figs. 10 y 11) evidencian la sencillez con que está proyectada esta obra, que puede ser copiada en todos sus detalles.

Además de los tirantes oblicuos, cuya tensión se regula con tornillos de presión, los pilotes están arriostrados por un fuerte entramado horizontal, compuesto de hierros en U y de aspas de hierros en T, que aseguran la indeformabilidad del conjunto.

La rosca es de fundición, y se representa en la lámina XIV, figura 21. El tablero está constituido por vigas longitudinales y viguetas transversales, y dos andenes en voladizo aumentan el ancho de la plataforma. El piso es de madera y se indican las dimensiones de sus partes en el plano de detalle.

Muelle de Vigo (Pontevedra) (lám. X, figs. 6 y 7).—La Junta de Obras del Puerto de Vigo, de la que es ingeniero director D. Fernando G. Arenal, acaba de construir un gran muelle de carga sobre pilotes de rosca (1).

(1) Hay además en el puerto de Vigo otro muelle sobre pilotes de rosca para el servicio del ferrocarril de Orense á Vigo, que lo ha ejecutado por su cuenta.

Las dimensiones generales de la obra son las siguientes: 54 metros de saliente sobre el malecón de fábrica, de donde arranca, y 18 metros de ancho; dispuestos simétricamente á ambos lados de este puente se extienden en forma de T dos martillos, que tienen una longitud total de 180 metros, con el mismo ancho de 18.

Los elementos que constituyen estos muelles están suficientemente representados en la lámina X, y presentamos además algunos detalles en la lámina XXVII.

Son de hierro forjado los pilotes, todas las vigas y viguetas que componen el entramado del tablero, las riostras y tirantes, escuadras, tornillos, herrajes y las vías de circulación sobre el muelle. Son de fundición las roscas, capiteles y manguitos de los pilotes.

Las tuercas de presión que atirantan las diagonales de arriostamiento son de acero fundido y de hierro galvanizado la clavazón del piso.

Los pilotes están en uno y otro sentido á 4^m,50 de distancia; sobre sus capiteles se apoya una cuadrícula formada por vigas en doble T de 0^m,70 de altura. El entramado se completa con viguetas en doble T, formadas por un alma de 400×6 y cuatro angulares de 70×70×10. Estas viguetas, unidas á las vigas y apoyadas sobre sus cabezas inferiores, están situadas á 0^m,90 de distancia. Sobre ellas corren larguerillos de madera de 0^m,20×20 y el entablado que constituye el piso.

Los pilotes mayores alcanzaron longitudes de 16^m,50, y estaban formados por dos trozos unidos por el manguito de fundición.

A causa de esta gran altura de pilotes, el arriostado tuvo que ser bastante complicado: el primero, horizontal, situado al nivel de bajamar, es doble; es decir, que hay riostras en el sentido de los ejes de los pilotes en forma de cruz y aspas de hierros T en diagonal. El arriostado inferior está constituido por hierros en doble T en el sentido de las palizadas.

Por último, en los planos de las palizadas se atirantan los pilotes con hierros redondos que llevan dobles tuercas de presión, habiéndose conseguido con estos arriostamientos una completa rigidez.

Las defensas son de madera de pino creosotada, de las llamadas colgadas, pues sólo llegan hasta bajamar.

En toda la longitud del muelle corren dos vías, cuyos enlaces se efectúan por medio de cambios en curva de 30 metros de radio. Hay dos grúas de vapor de bastidor alto (Gantry Cranes) que permiten á los vagones pasar por debajo. Pesan 26 toneladas y tienen una fuerza de 3. La pluma se eleva 12 metros sobre el piso del muelle y sus movimientos no producen en él la más ligera trepidación.

El peso de la parte metálica de una palizada de altura media se distribuye en la forma siguiente:

	Pilotes.	8,750	} 24.879 kilogramos.
	Vigas y viguetas.	10,349	
Hierro forjado.	Arriostros.	5,060	
	Collares.	224	
	Tornillos y remaches.	496	
	Roscas.	1,560	} 2,525 —
Hierro fundido.	Capiteles.	245	
	Manguitos.	720	

El costo total de la obra ha sido de 838.074,99 pesetas para la parte de hierro y 168.903,13 para la de madera, ó sea un total de 1.006.978,12 pesetas. Siendo la superficie total del muelle de 4.212 metros cuadrados, resulta un costo de 239 pesetas por metro cuadrado.

En el capítulo XIV reseñamos el procedimiento de hinca que se siguió en esta obra.

Muelle de la Rábida (Huelva) (lám. X, figs. 9 y 10).—Con motivo del cuarto centenario del descubrimiento de América, se ha construído en las inmediaciones del histórico Monasterio de la Rábida un elegante muelle, cuyas obras, ejecutadas en ocho meses, terminaron en 31 de julio de 1892.

Las figuras de la lámina X dan una idea de este muelle, cuyos más interesantes detalles se presentan además en la lámina XXVII. Honra este proyecto á su autor, el ingeniero de caminos D. Francisco Terán, que ha conseguido dar buen aspecto á una estructura antiestética, como todas las de los muelles metálicos.

De la construcción de esta obra se encargó la Junta de Obras del Puerto de Huelva, de la que es ingeniero director D. Luis María Molini, estando al frente de las obras el ayudante señor Algara.

Como el terreno en que habían de hincarse los pilotes era fango semifluido, se proyectaron aquéllos de fundición y gran diámetro, abiertos por su extremidad inferior y con roscas de muy poco paso, cuyo detalle se representa en la lámina XVII, figura 6.

Pero como en las primeras palizadas se encontró debajo de la capa de fango una capa de arena y gravilla, se sustituyeron aquellas roscas por otras cónicas, con hélices de menor diámetro y mayor paso.

Las palizadas de la pasarela están á 9 metros de distancia; en la plataforma de embarque se reduce á 6 metros la distancia de los pilotes.

La plataforma está toda rodeada por un falso muelle de madera, con dos filas de pilotes, y en él se han establecido las seis escaleras que facilitan el embarque por todos lados.

El terraplén de acceso, con sus pretilos de sillería, su monumental rotonda, la elegante barandilla del muelle y los bancos y faroles que se han distribuido en toda la obra, contribuyen á adornarla, produciendo el conjunto una impresión agradable.

El resumen de la cubicación del muelle y el importe de su construcción son los siguientes:

Hierro fundido en pilotes-tubos, roscas, capiteles, noraves de amarra y adornos de la barandilla.	108,733 kilogramos.
Hierro laminado para el entramado del madero y piezas de la barandilla.	80,733 —
Hierro forjado en tornillaje, pernos, collares, etc.	17,110 —
Total del hierro.	206,576
Madera de escuadría de pino rojo de América.	112,11 metros cúbicos.
Madera de tablonaje de pino de Flandes para pisos, escaleras, etc.	162,16 —
Total.	274,27
Importe del material metálico puesto en obra.	93,845 pesetas.
Idem del maderaje íd. íd.	36,361 —
Idem de la hinca de ambas clases de pilotes.	8,702 —
Idem del alquitranado y pintura.	7,903 —
Idem de bancos y faroles.	3,954 —
Importe total del muelle.	150,765

En el capítulo XIV damos algunos detalles del montaje de este muelle.

Muelle embarcadero de la Junta de Obras del Puerto de Huelva (lámina XI, figs. 1, 2, 3 y 4).—El puerto de Huelva, cuyo movimiento anual pasa de 1.300.000 toneladas de mercancías, en su mayor parte de minerales, tiene para el trasbordo tres muelles metálicos sobre pilotes de rosca.

Son éstos: el de la compañía minera de Tharsis; el de la de Río Tinto, que más adelante describiremos, y el construido por la Junta de Obras del Puerto de Huelva para el servicio público.

Este último, del que nos vamos á ocupar, y representado en la lámina XI, está actualmente formado por el muelle propiamente dicho, que tiene 155 metros de longitud y lleva tres vías para vagones y dos para las grúas, y un puente en curva con una sola vía que lo comunica con tierra.

La disposición actual de la obra difiere por completo del primer proyecto, redactado en 1881 por el ingeniero, entonces director de aquella Junta de Obras, D. Carlos María Cortés.

Consistía éste en un espigón saliente (véase fig. 1, lám. XI), formado por una cabeza (*abcd*) de 51^m,84 de longitud y 14 metros de ancho para dos vías férreas, á las que daba acceso el viaducto ó puente con una sola vía tal como está hoy. Toda la construcción era metálica, menos el piso y una doble palizada de defensa que envolvía la cabeza del muelle. La disposición del entramado metálico está representada en detalle por la figura 6 de la lámina XXVII.

Como se ve, consiste en tubos verticales de fundición de 0^m,30 de diámetro, terminados por una gran rosca de 1^m,30 de diámetro. Sobre las cabezas de los pilotes se apoya el entramado del piso, que es sencillo y bien estudiado. Los pilotes están situados á 3 metros en sentido transversal, arriostándose con los hierros que se representan en la figura.

En sentido longitudinal están las palizadas á 6 metros de distancia y no llevan ningún arriostamiento.

El peso de una de estas palizadas se descompone del siguiente modo:

Hierro fundido..	7.951 kilogramos.
— laminado ó forjado.. . . .	294 —

Cada tramo de 6 metros pesa á su vez:

Hierro fundido.	112 kilogramos.
— laminado ó forjado.	2,705 —

Estos pesos, que comparamos en el anexo núm. 3 con los de otros puentes para ferrocarriles, nos permitirán deducir en los capítulos XII y XIII algunas observaciones sobre esta disposición, que por lo demás ha prestado excelentes servicios para el paso de trenes de mineral remolcados por una locomotora de 17 toneladas.

Reconocida la insuficiencia de este muelle para el tráfico del puerto de Huelva, se amplió en dos épocas sucesivas: primeramente con la parte ABCD, y más tarde con una segunda ampliación, alcanzando hoy las dimensiones representadas por la figura 1 de la lámina XI.

Estas ampliaciones, proyectadas por el actual ingeniero de aquel puerto D. Luis María Molini, se terminaron en agosto de 1893, y el sistema de construcción seguido, que está representado por las figuras 2, 3 y 4 (lám. XI), es diferente del primer trozo de muelle.

Los pilotes son iguales, también tubos de hierro fundido, con roscas helicoidales de 1^m,30 cuyo detalle representamos en la figura 4 de la lámina XVII, pero sólo alcanzan al nivel de bajamar. Todo el resto de la construcción es de madera. Como se ve en la figura, dentro de estos tubos, que terminan en un regatón convenientemente fundido MNPQ, unido al último trozo de tubo por un manguito RR, se introducen unos vástagos de madera de 33 centímetros de escuadría, sobre los que se apoyan las carreras de madera del piso; éstas se refuerzan en sentido longitudinal con sopanda y jabalcones, y transversalmente se arriostan los vástagos con cruces de San Andrés.

El muelle está, por último, envuelto por un empanado de defensa, constituido por pilotes de madera hincados á machina, carreras y tablones, y las dimensiones de todas las piezas, así como su disposición, se indican suficientemente en las figuras.

Los datos de peso, volumen y costo de estas obras, que consideramos interesante consignar, son los siguientes:

	Proyecto primitivo.	Primera ampliación.	Segunda ampliación.	Totales.
Hierro fundido, toneladas.	482,871	251,671	394,690	1,129,232
Idem laminado ó roblonado, toneladas.	175,736	39,257	»	214,993
Idem dulce ó forjado, toneladas.	18,851	14,226	19,787	52,864
Madera de escuadría, metros cúbicos.	583,39	397,48	749,66	1,730,53
Idem de tablonaje, metros cúbicos.	236,54	119,81	276,23	632,58
Importe de las obras, pesetas.	434.634,38	192.746,06	322.272,28	949 652,72

Al final de este capítulo compararemos estos importes con los de otros muelles, para deducir conclusiones de carácter económico.

Muelles cargaderos de Río Tinto (Huelva) (figs. 5, 6 y 7, lámina XI).—Esta obra, construída por la compañía de las minas de Río Tinto para el embarque de sus minerales, tiene una longitud de 579 metros de largo, que se subdivide en dos tramos rectos de 183 y 160 metros de largo, unidos por una curva de 236 de desarrollo y 183 de radio.

De toda esta longitud sólo se utiliza para la carga y descarga de los buques el último trozo recto de 160 metros; aun así, no supera el calado disponible 4 metros en bajas mares vivas.

Se compone esta zona del muelle de dos partes, distintas é independientes. Un cargadero metálico sobre columnas de fundición y un muelle de atraque envolvente de madera, sobre pilotes del mismo material, que defiende al primero contra el choque de los buques.

Toda la construcción se compone de dos pisos.

El inferior, horizontal en casi toda su longitud, se destina á embarcadero y al comercio de importación. Lleva tres vías para vagones en su parte central, y dos vías exteriores sobre los muelles de madera para las grúas.

El piso superior, destinado exclusivamente á la carga de los minerales, lleva cuatro vías, dos para la llegada de los vagones cargados y otras dos para el regreso de los descargados.

Estas vías, y por ende el piso superior, tienen pendientes distintas, como se suele hacer en todos los cargaderos de mineral,

para que el movimiento de los vagones sea casi automático en la zona del muelle. Los dos pisos metálicos están sostenidos por una serie de pilas separadas 15 metros entre sí, y constituida cada una de ellas por dos filas de cuatro pilotes-tubos de fundición.

Cada tubo está constituido por varios trozos de 5^m,20 de longitud, empalmados entre sí por medio de collares. Tienen 0^m,40 de diámetro y 31 milímetros de grueso. En el extremo inferior, situado á unos 9 ó 10 metros debajo de las bajas mares, llevan unas roscas de fundición de 1^m,525 de diámetro. El sistema se arriostra con tirantes oblicuos y horizontales.

El extraordinario peso de los tramos y la gran flojedad del terreno, que es de fango en una gran profundidad, obligó á añadir á cada pila una plataforma de madera, que se representa en la figura, compuesta por maderos de 30 × 16 centímetros, inyectados de creosota, unidos al tope. Sobre estos maderos, y sirviéndoles de enlace, van tendidas ocho piezas transversales de la misma escuadría, y sobre éstas se apoyaban á su vez unos patines rectangulares de fundición, unidos invariablemente á las columnas, operación que fué necesario encomendar á los buzos. Los pilotes de madera del muelle exterior también llevaban azuches metálicos en forma de rosca, análogos al de los tubos de fundición.

En esta obra se han invertido 1.900 toneladas de fundición, 1.400 de hierro y 6.000 metros cúbicos de madera inyectada de creosota, y su costo ha alcanzado la extraordinaria cantidad de ¡3.700.000 pesetas!

Aunque por estos datos y el examen de los planos parecen ser estos muelles acreedores de un más detenido estudio (1), no podemos menos de consignar aquí que, por el contrario, juzgamos debe evitarse la imitación de este sistema.

En el tomo I de los *Anales de la construcción y de la industria*, números 12, 15 y 17, el inspector D. Pedro P. de la Sala, después de describir minuciosamente esta obra, censura razonadamente las disposiciones, detalles y materiales de las diferentes partes del muelle. Nosotros debemos limitarnos al examen del sistema, desde el punto de vista concreto de las palizadas metálicas empleadas.

(1) Pueden verse más detalles de este muelle en la revista inglesa *Minutes of proceedings of civil engineers*, tomo del año 1878.

En primer lugar, el extraordinario peso de la superestructura proviene en gran parte de las luces de 15 metros dadas á los tramos. ¿Qué necesidad había de construir un verdadero puente, cuando hubiérase podido reducir los tramos á luces de 4, 5 ó 6 metros, como se hace en casi todos los muelles sobre pilotes de roca? Seguramente, de haberse adoptado una disposición análoga á la de los demás muelles examinados, no sólo se hubiera reducido el peso de los tramos, sino que, al aumentar el número de apoyos, hubieran éstos tenido que soportar un peso que quizá llegara á ser la décima parte del que corresponde hoy día á cada tubo. Se hubiera así disminuído muy considerablemente la sección de estos pilotes, y sería bastante con las roscas helicoidales para sustentar toda la construcción, evitándose las costosas plataformas de madera, que hubieran podido evitarse también añadiendo otras roscas helicoidales á diferentes alturas del tubo, según explicamos más adelante (1).

Además, tampoco era necesario el costoso muelle envolvente de madera; pero esto merece párrafo aparte, y trataremos esta cuestión al estudiar comparativamente y á continuación las disposiciones empleadas en los muelles construídos.

§ 3.—Estudio comparativo de los muelles construídos sobre pilotes metálicos.

Disposiciones en planta.—Todo muelle embarcadero consta de dos partes: de la plataforma ó *cabeza*, á la cual atracan los buques para practicar sus operaciones comerciales, y del puente que los ingleses llaman *pear*, cuyo principal objeto es establecer la comunicación del embarcadero con la costa; y decimos principal, porque también se utiliza algunas veces el puente, como la cabeza, para que atraquen á los costados los buques de menor porte y carguen y descarguen sobre él sus mercancías.

Las formas de las cabezas son muy variadas, y dependen, ya de las circunstancias locales, ya del objeto del embarcadero. La más natural consiste en un ensanche, formando una T con el puente, como en los de Starcross (fig. 6), el antiguo de Southport (fig. 7) y el nuevo de Vigo (lám. X). De esta manera pueden atracar á la cabeza uno ó más buques de frente y dos á los costados.

(1) Véase el final del § 4 del capítulo IV.

Sin embargo, la forma más generalmente usada es la de una verdadera cabeza, ya casi cuadrada, como en el de Clevedón y

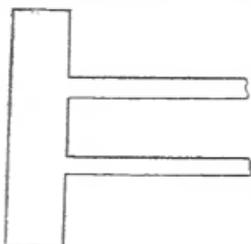


Fig. 6.—Starcross.

En el embarcadero de Milford forma la cabeza un martillo ó L (figura 10). El de Santander (fig. 11) estrecha en la cabeza, en

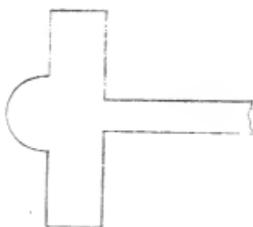


Fig. 7.—Southport.

vez de ensanchar, porque las vías laterales sirven las grúas del puente, y sólo la central llega hasta la cabeza.

Este estrechamiento tiene, sin embargo, el inconveniente de reducir el espacio para las maniobras y de nodar á los buques que atracan á ella suficiente línea de apoyo; para suplir esta falta fué necesario establecer á los lados dos armazones triangulares de madera, correspondiendo á las extremidades del buque atracado. Las demás formas de cabeza, que se indican en las figuras 12 y 13, obedecen á condiciones dadas, ó son resultado á veces del capricho del ingeniero, pues nada se dice para justificarlas (1).



Fig. 8.—Coruña.

utilizándose el puente para la carga y descarga.

Así es que, en resumen, para muelles apoyados especialmente sobre pilotes de rosca, puede decirse que conviene huir de las

(1) Los anteriores datos están extractados de los artículos ya citados de D. Pedro P. de la Sala sobre los muelles embarcaderos de Huelva.

formas complicadas, y sobre todo de los paramentos curvos, pues introducen en la obra elementos variables, cuando la tendencia debe ser la de uniformar todas las partes del muelle para facilitar la construcción y montaje.

Por esta misma razón debe también evitarse, cuando se pueda, la dirección curva de los muelles, aunque en los de Puntales (Cádiz), Portugalete y Huelva se haya podido construirlos sin dificultad.

Materiales que deben emplearse.—Hasta hace pocos años existía la creencia de que el hierro dulce se oxidaba con mucha mayor rapidez que el hierro fundido bajo la acción de las aguas y vapores salados, y esto justifica la predilección de algunos ingenieros ingleses en favor de la fundición, que les hacía construir los pilotes en forma de columnas de este material, como se ha hecho, por ejemplo, en los muelles de Courtown y más recientemente en los embarcaderos de Huelva.

Pero esta supuesta calidad de la fundición se ha desvirtuado ya en el capítulo II, en el que se demuestra que si bien el hierro, la fundición y el acero son análogamente oxidables por el agua del mar, pueden perfectamente preservarse de la corrosión empleando pinturas ó enlucidos, de los que también nos ocupamos en aquel capítulo.

Si desde el punto de vista de la oxidación es indiferente el empleo de la fundición ó del hierro, ofrece la fundición el inconveniente de su mayor fragilidad; para atenuarla se ha propuesto por algunos introducir en la parte hueca de los pilares una alma de madera, sujeta con forros de goma elástica, lo cual encarece y dificulta la obra, sin lograr tampoco el objeto por entero.

La experiencia ha demostrado, sin embargo, que estos temo-

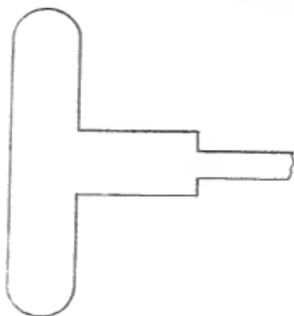


Fig. 9.—Southport.

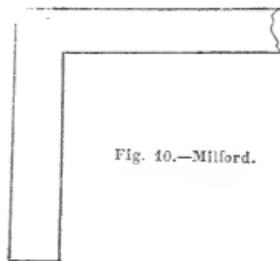


Fig. 10.—Milford.

res son muy exagerados, según veremos al final de este capítulo, y que pueden emplearse para los muelles los pilotes-tubos de fundición, con tal de que se defiendan con un sencillo empanado contra los choques directos de los buques, obteniéndose así alguna economía.

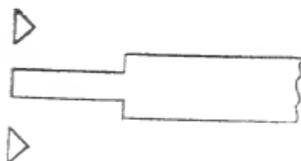


Fig. 11.—Santander.

En los casos en que la madera sea cara, ó que los muelles se encuentren en parajes sujetos á corrientes ó resacas algo violentas que sacudan los barcos, es preferible construir los pilotes de hierro dulce, como se ha hecho en una gran parte de los muelles, reservándose la fundición para los capiteles, manguitos, collares y roscas de los pilotes, aunque es aún preferible ejecutar estas piezas de *acero fundido*, que presenta mayor resistencia y elasticidad.

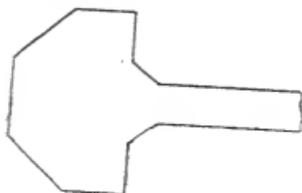


Fig. 12.—Eaustbourne.

En cuanto al entramado del tablero de estos muelles, aunque algunos, como en la Coruña, se han construido de madera, hoy día se reserva únicamente este material para los entablados, donde es más fácil su sustitución. Aun así, para que no se pudran rápidamente, conviene inyectarlos con abundante creosota ó bañar los tablones en alquitrán ó brea y tener cuidado de no colocarlos en contacto, sino dejando intervalos de uno ó dos centímetros.



Fig. 13.—Bognor.

Disposiciones de los pilotes. — Cuando se construyen de hierro dulce, son generalmente hierros redondos de 0^m,10 á 0^m,20 de diámetro, como en Mayagüez, Congo, Villagarcía y Bayona. Pueden ser también de sección hexagonal, como en Bilbao. Con estas dimensiones se pueden dar á los pilotes longitudes hasta de 20 metros, incluyendo la parte enterrada en el suelo; pero cuando los pilotes tienen que tener mayor altura, se precisa construirlos con más rigidez y sección. Así que en

el muelle de Valparaíso, en que alcanzan 30 metros de altura, se constituyeron con cuatro hierros zorés de palastro, roblonados entre sí y formando un tubo de 0^m,40 de diámetro. También se pueden construir de tubos estirados de hierro dulce, como para el muelle construído para la Turquía asiática, cuyos pilotes tienen 140 milímetros de diámetro y un espesor de 12.

Cuando se construyen de fundición los pilotes, como en Courtown, Cádiz y Huelva, se adopta para ellos disposiciones análogas á las que describiremos más adelante (cap. IX).

Claro es que las grandes longitudes que pueden alcanzar los pilotes dificultan el transporte y montaje cuando se construyen en una sola pieza.

Conviene dividirlos en trozos de 3 á 6 metros, que se empalman entre sí con manguitos de hierro ó acero fundido cuando son los pilotes de hierro dulce, ó con bridas ó enchufes cuando son de fundición.

Llevan además collares que permiten la unión con las barras ó aspas de arriostamiento, que suelen ser de fundición, así como los capiteles superiores que coronan los pilotes, y de los que pueden servir de modelo los de los muelles de Mayagüez y Portugaleta (lám. XXVI).

Respecto á las roscas, son iguales á las empleadas en los puentes, y en el capítulo IX describimos todos los modelos que pueden emplearse.

Disposición de las palizadas.—Aunque en el dique de Portugaleta se ha dado á los pilotes un talud de $\frac{1}{10}$, por circunstancias especiales es preferible disponerlos verticalmente, no sólo porque se facilita el replanteo é hinca, sino porque trabajan en mejores condiciones; los elementos que constituyen las palizadas son iguales y los capiteles menos complicados.

La distancia á que se sitúan estos pilotes en cada palizada transversal al muelle puede variar entre 2^m,50 y 6 metros, aumentando con la altura de los pilotes, y pueden además colocarse pilotes suplementarios para el apoyo de las grúas.

Aunque la distancia entre las palizadas suele ser algo mayor ⁽¹⁾ que la de los pilotes de cada una de ellas, tampoco con-

(1) En Mayagüez y Vigo, la distancia de los pilotes es de 4 metros y 4,50 respectivamente, é igual en uno y otro sentido.

viene pase de 6 metros, si se quiere aligerar el peso de los tramos, pudiéndose así arriostrar longitudinalmente estas palizadas, de igual manera que se arriostra transversalmente.

Estos arriostramientos consisten en cruces de San Andrés, constituidos por hierros redondos, como por ejemplo en Bilbao, Bayona, Vigo, Huelva, etc., con tornillos de presión, ó hierros T ó angulares, como en Mayagüez. Otras veces se añaden tirantes horizontales; pero no son indispensables, y es preferible un arriostramiento horizontal constituido por otras cruces de San Andrés.

Disposiciones de los tableros.—Ya hemos visto que los entramados de madera deben evitarse, y que los tableros se constituyen generalmente por vigas longitudinales en doble T de 0^m,30 á 0^m,60 de altura, que se apoyan sobre los capiteles de los pilotes. Estas vigas sostienen á su vez las viguetas situadas á distancias de 1 á 1^m,50, y sobre ellas puede ponerse el entablado del piso (dique de Portugalete).

Otras veces las viguetas sólo se ponen en el plano de las palizadas, y es preciso entonces añadir al entramado unos largueillos en sentido longitudinal (muelles de Mayagüez, Turquía y Congo), que son los que sostienen el entablado del piso.

Por último, en el muelle de Mayagüez se han arriostrado las cabezas inferiores de las vigas principales con aspas de hierros en ángulo, y no cabe dudar que contribuyen á la rigidez de los tramos. Debe también añadirse una ligera barandilla en aquellos sitios en que no entorpezca las operaciones de carga y descarga, y basta con el modelo empleado en el dique de Portugalete, que es económico y suficientemente rígido.

Finalmente, las grúas, carriles y escaleras laterales se disponen en los sitios convenientes y según las necesidades del puerto, reforzando su emplazamiento, si es preciso, con pilotes suplementarios.

Defensas y empanados de madera.—La fragilidad de los tubos de fundición explica el temor que se ha tenido en algunos casos de que no pudieran éstos resistir sin romperse los choques de los buques que atracan contra los muelles. Así que, por ejemplo, en el muelle de Río Tinto (lám. XI) los ingenieros ingleses que lo proyectaron han envuelto toda la parte metálica con un

muelle secundario de madera establecido sobre dos filas de pilotes.

Análogo criterio, aunque algo atenuado, se ha seguido en el muelle de la Rábida (lám. X), y se proyectó en el primer muelle de la Junta de Obras del Puerto de Huelva, ambos con pilotes de fundición; pero aunque este sistema aísla, en efecto, casi por completo la parte metálica, resulta muy costoso y en la práctica innecesario.

Estos mismos temores han hecho proyectar de madera toda la parte de las ampliaciones del muelle de Huelva por encima de la bajamar (lám. XI, fig. 2), adicionando un empanado de defensa que envuelve el espigón; pero los mismos ingenieros que proyectaron esta disposición, obligados por la opinión de la superioridad, entonces temerosa, reconocen que son exagerados esos recelos.

No hay tales choques capaces de comprometer el conjunto del muelle, y cuando los hay por pura casualidad y debidos á circunstancias fortuitas, que son muy raras, sus efectos se reducen á romper algunas panas por apoyarse todo el buque en una de ellas.

Aun en el caso ocurrido en el muelle de Tharsis, en el que un buque embistió el muelle y abrió un pequeño boquete, todo se redujo á la rotura de un pilote, que se reparó con facilidad y economía. Entonces quedó probado que los choques en los muelles metálicos, en las condiciones en que pueden resultar, son realmente inofensivos, y basta estar presente en la atracada de cualquier buque para comprender que con un sencillo empanado de madera basta para amortiguar la escasa fuerza viva que se transmite, dada la lentitud de todos los movimientos.

Claro es que este empanado es sobre todo conveniente cuando los pilotes del muelle son de fundición, y en este caso debe la defensa presentar la disposición empleada en los muelles de Puntales, la Coruña y Villagarcía (lám. IX), constituyéndose con pilotes de madera hincados por percusión y carreras horizontales que los arriostran.

Pero cuando los pilotes son de hierro dulce, y por lo tanto susceptibles de resistir sin romperse los choques de los buques, casi puede decirse que es innecesaria la defensa de madera, y así vemos que no existe en los muelles de Delaware, Congo, Turquía y Bayona.

No puede negarse, sin embargo, que es conveniente; pero debe limitarse á la disposición llamada de *defensa colgada*, que consiste en maderas verticales, que sólo llegan á la bajamar y que envuelven la parte del muelle en que atraquen los buques. Se ha empleado este sistema en los muelles de Mayagüez, Valparaíso y Vigo, y basta en realidad para amortiguar los choques.

Costo de los muelles metálicos.— En el cuadro siguiente hemos reunido los datos de costo de varios importantes muelles, que pueden considerarse como los tipos más característicos; y deduciendo los precios que resultan por metro cuadrado de muelle completamente terminado, se confirma la economía que se obtiene con el empleo de los tubos de fundición, cuando el proyecto está bien estudiado, como ocurre, por ejemplo, con el muelle de la Rábida, que puede servir de modelo, y que sólo ha costado 155 pesetas por m², mientras que los muelles sobre pilotes de hierro cuestan más de 200 pesetas por m².

	Importe de las obras. — Pesetas.	Superficie de los muelles. — Met. cuad.	Costo del metro cuadrado. — Pesetas.	OBSERVACIONES	
Muelle de Villagarcía. . .	536.596	2.430	219	Pilotes de hierro dulce. Empanado simple.	
Muelle de Vigo	1.006.978	4.212	239	Idem. Defensa colgada.	
Muelle de Río Tinto. . . .	3.700.000	7.075	523	Pilotes de fundición. Doble empanado.	
Muelle de la Rábida. . . .	150.765	969	155	Idem id. id.	
Muelle de la Junta de Obras del Puerto de Huelva. {	Muelle primitivo. . .	434.634	1.700	242	Idem id. id. Pilotes mixtos de madera y fundición. Entramado y empanado de madera.
	1.ª ampliación. . . .	192.746	1.402	137	
	2.ª ampliación	322.272	2.223	145	
Total.	949.652	5.415	175		

CAPÍTULO VIII

FAROS CONSTRUÍDOS SOBRE PILOTES METÁLICOS

§ 1.—*Consideraciones generales.*

§ 2.—*Descripción de los faros más importantes apoyados sobre pilotes metálicos.*

—Faro de Maplin-Sand (Inglaterra).—Faro de Spit-Bank (Irlanda).—Faro de Walde (Francia).—Faro de l'Enfant Perdu (Guyana francesa).—Faros de los Lagos Amargos (Canal de Suez).—Faro de Minot's Ledge (Estados Unidos) y Bishop's Rock (Inglaterra).—Faro de Coral-Reefs (Estados Unidos).—Faros de la desembocadura del Ebro (España).—Faros de La Baña.—Faros del Fangar.—Faro de Buda.—Torre de señales de Portugalete (Bilbao).

§ 3.—*Observaciones sobre las disposiciones adoptadas en los faros con pilotes de rosca.*—Metal que debe emplearse.—Situación de la casa de torreros.—Disposición general del esqueleto.—Estabilidad. Solidaridad.

§ 1.—**Consideraciones generales.**

Entre el gran número de aplicaciones de los pilotes de rosca, una de las más útiles ha sido seguramente la de emplearlos en la construcción de aquellos faros que, por las particulares circunstancias de su emplazamiento, era imposible ó sumamente difícil al menos establecer sus fundaciones con la solidez que se requiere en edificaciones de tanto peso y tan expuestas á los vientos y á los destructores efectos de las olas del mar.

La enorme resistencia que ofrecen las roscas hincadas en el terreno, por blando que éste sea, basta para constituir un sólido cimiento, que ni sufre depresión, ni se altera por el oleaje, ni está expuesto á socavaciones, pudiendo por lo tanto sostener, sin riesgo alguno, la carga que sobre él se establezca, arreglada naturalmente al número de pilotes, á su diámetro y á la extensión superficial de los helizoides que llevan éstos en su extremidad inferior.

El invento de Mitchell constituye por lo tanto, en determinadas circunstancias, una excelente fundación, lo cual nada tiene de extraño, sabiendo los buenos efectos que han producido

desde muy antiguo los pilotes ordinarios, que siguen aún empleándose en aquellos terrenos que por su flojedad no presentan la resistencia suficiente para evitar en las fábricas esos movimientos tan perjudiciales, debidos las más veces á la poca solidez de la base de sustentación.

El único temor que en un principio ofrecía el uso de los pilotes de hierro, especialmente para trabajos marítimos, era la destrucción del metal por causa del agua salada, asunto que preocupó mucho, con sobrado fundamento, á los ingenieros y químicos más distinguidos de Inglaterra, y dió lugar á informes y discusiones del mayor interés en los Institutos científicos de Londres.

Pero como hemos dicho ya en el capítulo II, estos temores se han desvirtuado en gran parte, bastándonos citar en apoyo de nuestra opinión el perfecto estado de conservación del faro de Maplin-Sand, construído en 1840, y de otros de la misma época, que llevan sus cincuenta y cuatro años de edad, sin que se manifieste en ellos desperfectos sensibles, aun en aquellas porciones inferiores que por estar constantemente sumergidas no pueden recibir la pintura que se da de vez en cuando á toda la obra exterior.

Describiremos á continuación las más interesantes obras de este sistema, cuyo examen nos permitirá deducir algunas conclusiones de carácter general.

§ 2.—Descripción de los faros más importantes apoyados sobre pilotes metálicos.

Faro de Maplin-Sand, en la desembocadura del Támesis (lámina XII, fig. 1).—Esta obra, la primera establecida sobre pilotes de rosca, fué levantada por la Corporación Trinity-house, proyectada por los ingenieros MMr. Walker y Bourges y construída por Mitchell en 1841.

La marea se eleva á 4^m,90 sobre el banco de arena de Maplin, que rara vez queda al descubierto. El examen del terreno demostró que bastaba apoyar el faro sobre nueve pilotes de hierro dulce de 0^m,127 de diámetro y 7^m,90 de longitud, terminados por roscas de fundición de 1^m,22 de diámetro. Estos pilotes se hincaron en la arena hasta 6^m,70 de profundidad, en nueve días consecutivos, del 28 de agosto al 5 de septiembre de 1838; ocho

pilotes ocupan los vértices de un octógono regular, en cuyo centro se colocó el noveno.

La linterna descansa sobre columnas de fundición que se enchufan en los vástagos de los pilotes. Siendo de 73 toneladas próximamente el peso total de la obra, cada pilote está cargado con 8.000 kilogramos, lo que da una presión en la hélice de 0,7 kilogramos por centímetro cuadrado.

El andamio estaba formado por una balsa cuadrada de 4 metros de lado, de madera americana, que se fondeó sobre el cimiento después de hincados los pilotes, recubriéndola de faginas y escolleras y constituyendo una plataforma de defensa contra las socavaciones.

Mr. Mitchell cobró 22.500 francos por la hinca de los pilotes, y añadiendo el costo de la plataforma, resultó que la cimentación toda del faro no pasó de 30.000 pesetas.

Faro de Spit-Bank (Irlanda) (lám. XII, fig. 2).—Este faro, construido también por Mitchell para el puerto de Cork, por cuenta de la Comisión de faros de Irlanda, fué proyectado por Mr. George Halpin y encendido por vez primera en 1851.

La obra se apoya, como en el faro anterior, sobre nueve pilotes, con roscas de 0^m,61 de diámetro, hincados 5 metros en el fondo del banco de arena, que se encuentra á 2^m,45 debajo de las bajas mares vivas.

Los pilotes son de hierro dulce en toda su longitud; tienen 0^m,15 de diámetro en su extremo inferior y 0^m,20 en el primer empalme, con manguitos de hierro forjado, disminuyendo entonces gradualmente el diámetro hasta 0^m,127 que tienen en los capiteles que sostiene la linterna.

El conjunto está arriostrado por un marco horizontal á 6^m,10 por debajo de la plataforma, de barras redondas de 0^m,127 en sus puntos medios y 0^m,10 en sus extremos, y por cruces diagonales de 0^m,05 de diámetro.

El entramado de la plataforma y la casilla son de roble, las paredes de palastro y las cubiertas de hojas de plomo.

La plataforma está fuertemente sujeta á los capiteles de fundición de los montantes, que á su vez descansan sobre collares de hierro forjado.

Faro de Walde (Calais, Francia) (lám. XII, fig. 3).—Esta obra, construída por los ingenieros de puentes y calzadas franceses,

se encendió por primera vez en 1859. Se encuentra al Norte del puerto de Calais, en una playa de arena que avanza mucho en el mar y en un emplazamiento que sólo se descubre en mareas equinocciales (1).

La disposición general es muy parecida á la del faro de Spit-Bank, antes descrito; se diferencia en que sólo descansa sobre siete pilotes dispuestos en el centro y vértices de un hexágono regular, en que éstos tienen más talud y en que el arriostado es más completo.

El pilote, descrito en el capítulo IX, § 3, se presenta en la lámina XV, figura 5.

Faro de l'Enfant Perdu (Guyana francesa).—Hacia la misma época se estableció un faro de análoga disposición al anterior en la roca del Niño Perdido, en las costas de la Guyana, habiendo sido necesario vencer sinnúmero de obstáculos para lograr su ejecución, pues era imposible acercarse á la roca con embarcaciones.

«Más de una vez, escribía Mr. Vivian, el ayudante de obras públicas encargado de la obra, fué menester que operarios robustos y valientes se lanzaran á nado para llevar cabos y establecer un va y viene de embarque, no siendo el menor peligro el de estrellarse contra las peñas, pues menudeaban los tiburones en aquellos parajes. Muchos salieron heridos y todos se jugaron la vida» (2).

Pequeños faros de los Lagos Amargos (canal de Suez).—Para los faros de Rosette, Burlos y Damiette, que hubo que levantar al abrir el canal de Suez, se empleó el palastro; y estas obras, descritas en *Les Annales Industrielles*, 1.º de agosto de 1869, tienen 48 metros de altura y se componen de una torre central de palastro, sostenida por cuatro jabalcones, también de tubo de palastro. Estas cuatro grandes piezas se apoyan sobre macizos de hormigón empotrados en el suelo.

Para los pequeños faros de los Lagos Amargos la disposición general es la misma; la torre de palastro está sostenida por 6

(1) Pueden verse los planos detallados de esta interesante obra, así como los referentes á la hinca de sus pilotes, en el *Portefeuille de l'Ecole des Ponts et chaussées*, láminas.

(2) *Les Phares français*, por Mr. León Renard.—Hachette et Cie. París, 1871.

jabalcones en tubos de palastro. Sólo que estos faros, en lugar de apoyarlos sobre macizos de fábrica, se cimentaron sobre 10 pilotes de rosca, 4 sosteniendo la torre central y situados en un cuadrado de 1^m,60 de lado y 6 colocados en los vértices de un hexágono regular, inscrito en un círculo de 4^m,50 de radio, que sirven de apoyo á los 6 jabalcones (fig. 14).

Estos pilotes, que se representan en la lámina XIV, figura 20, son de hierro dulce, de 0^m,170 de diámetro, y llevan un cubo con hélices de fundición que pesa 360 kilogramos.

Las cabezas están arriostradas por carriles, formando un emparillado, sobre el cual se fijan placas de palastro que sirven de plataforma al faro (1).

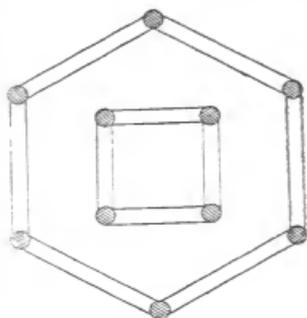


Fig. 14.

Faros de Minot's Ledge y Bishop's Rock (lám. XII, figs. 4 y 5).— Aunque estas dos obras han sido destruidas por temporales, presentamos sus dibujos para evidenciar bien que su ruina no es debida al sistema de fundación, sino á vicios de proyecto independientes de los pilotes de rosca.

La torre de Minot's Ledge tenía 24^m,40 de altura y se encontraba en la bahía de Boston. La de Bishop's Rock, que alcanzaba 36^m,60, se estaba erigiendo el año 1859 en las costas inglesas, en el mismo punto en que ahora existe el magnífico faro de sillería construido por el célebre ingeniero Mr. Walker.

De la inspección de los dibujos de estas dos desgraciadas obras, cuyos montantes eran tubos de fundición, se deduce bien pronto que, además de la viciosa elección del material en los montantes, que por ser de fundición y por ende quebradizos se rompieron á causa de las oscilaciones producidas por los vendavales, había al mismo tiempo dos defectos tan capitales que, á no dudarlo, debían ser causa segura de su ruina en un plazo

(1) Pueden verse detalles de estas obras en *Les Annales industrielles*, año 1869, láminas 87 y 88.

más ó menos corto. En primer término, la falta de estabilidad en el conjunto de las edificaciones, así por el ligerísimo talud de las pirámides, como por haberse establecido demasiado alto el centro de gravedad. En segundo lugar, las diversas partes de la obra carecían de solidaridad bastante, pues, dadas las alturas de las columnas, no eran suficientes los delgados arriostramientos proyectados.

Faro de Coral-Reefs (Estados Unidos).—A pesar de lo que acabamos de manifestar respecto á los peligros de los tubos de hierro fundido, fuerza es confesar que existe en la América del Norte un faro de pilares huecos de fundición bien digno de mencionarse por su altura de 40 metros y por el sitio en que se halla situado, expuesto, no tanto al choque de las olas, como á los impetuosos huracanes que allí reinan.

Este faro es el de Coral-Reefs, de la Florida, á la entrada del puerto de Key, construido con sujeción á los planos dados por el ingeniero de Filadelfia Mr. Lewis.

Constituyen la base de la obra 17 pilotes de hierro de 0^m,20 de diámetro, con hélices de 0^m,60, sobre los cuales suben después los montantes tubulares de fundición, con talud de $\frac{1}{6}$ los exteriores y sólo de $\frac{1}{20}$ los interiores, presentando ambos esqueletos la forma de dos pirámides cuadrangulares concéntricas y con un apoyo en su eje.

La altura total se encuentra dividida en seis partes, de cuyos puntos de división salen las riostras y tirantes que fortifican el sistema, uniendo las diferentes piezas entre sí y con el gran cilindro central que lleva la escalera de caracol que da acceso á la linterna.

La habitación de los torreros, también de planta cuadrangular, se situó en el segundo piso de la torre, á unos 10 metros sobre el nivel del mar.

El peso total que actúa sobre los 17 pilotes que constituyen la fundación de aquella obra sube á 356.000 kilogramos. Corresponde, por consiguiente, 20.918 kilogramos á cada uno de los pilotes; y siendo de 48.066 centímetros cuadrados el área de las 17 roscas helizoidales de fundición, resulta para éstas una carga de 7,40 kilogramos por centímetro superficial.

Pero este ejemplo no demuestra que la fundición deba emplearse en los montantes de los faros. Antes al contrario, com-

prendiendo Mr. Lewis los peligros que pudiera ofrecer el empleo de aquel material, reforzó su torre con una pirámide interior, arriostando fuertemente todos los elementos; pero esta estabilidad y solidaridad sólo se ha obtenido mediante un aumento de peso muy considerable, que pondremos de manifiesto, después de haber descrito el faro de Buda, al final de este capítulo.

Faros de la desembocadura del Ebro (lam. XIII).—El plan general del alumbrado marítimo indicaba para la iluminación del trozo de costa del Mediterráneo próximo á la desembocadura del Ebro tres luces diferentes, á saber: una de segundo orden, con eclipses de minuto en minuto, en la isla de Buda; otra fija de tercer orden en la punta de La Baña, y la última, de sexto orden, también de luz fija, en la punta del Fangar.

El eminente inspector D. Lucio del Valle los proyectó el año 1861, y por lo menos, por lo que se refiere al faro de Buda (fig. 5), puede asegurarse, sin que se nos tache de exageración nacional, que es el faro más notable construído sobre pilotes de rosca; bastando para convencerse de ello comparar su alzado con el de los demás faros, cuyos alzados en *la misma escala* presentamos en las láminas XII y XIII.

Estos tres faros, construídos por el fabricante de Birmingham Mr. Porter, no se han movido en los treinta años que llevan de existencia, y demuestran, por su aspecto elegante y hasta atrevido, que la ligereza no está reñida con la más completa resistencia y estabilidad.

Los describiremos, aunque sea ligeramente, sin perjuicio de que los lectores que deseen conocer los detalles de los cinco proyectos de D. Lucio del Valle pueden verlos en el tomo del año 1861 de la *Revista de Obras públicas*, números 10 y 11, en donde se publicó el proyecto completo, incluso todos los interesantes planos de detalle.

Faros de La Baña.—Para este faro de tercer orden, cuyo foco luminoso debía encontrarse á 19 metros sobre el banco de arena del delta del Ebro, el ingeniero D. Lucio del Valle redactó dos proyectos, cuyos alzados representan las figuras 1 y 2 de la lámina XIII.

El primero de ellos, cuya planta se ve adjunta (fig. 15), está dispuesto en el concepto de situar el piso de la casa de torreros á una corta altura del suelo, la necesaria no más para que pueda

un hombre meterse debajo á reconocer y pintar de vez en cuando las piezas de hierro.

La fundación consta de dos partes, á saber: los 9 pilotes del cuadrado central, sobre los que se establece una fuerte plataforma en que directamente descansa la torre, y los otros 12 pilotes de menor diámetro, que distribuidos al rededor del cuadrado exterior han de sostener las paredes de la casa. La torre se proyectó de duelas de hierro fundido con rebordes interiores en sus cuatro lados, para unir las convenientemente á juntas encontradas en el sentido vertical, y según

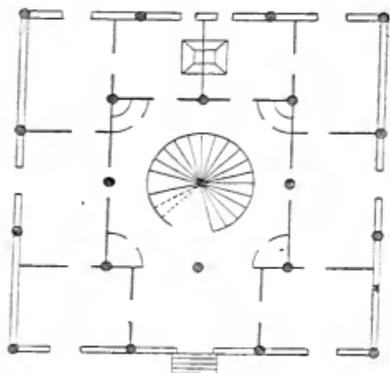


Fig. 15.

círculos paralelos á la base en el sentido horizontal, cuyo apa-rejo, al mismo tiempo que es de buen efecto, produce en el conjunto una solidaridad y rigidez extraordinaria.

Este proyecto daba un peso de 68.500 kilogramos de hierro.

Se ha aceptado y construído, pues, el segundo proyecto (figura 16), cuya planta es adjunta, que sólo pesa 46.800 kilogramos y que sólo difiere del primero en haberse levantado más la casa, disminuyendo la longitud del tubo de la escalera y haciendo éste de palastro en vez de usar el hierro fundido, como en el anterior.

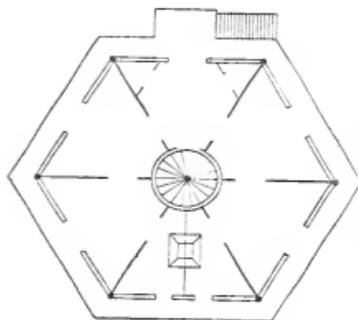
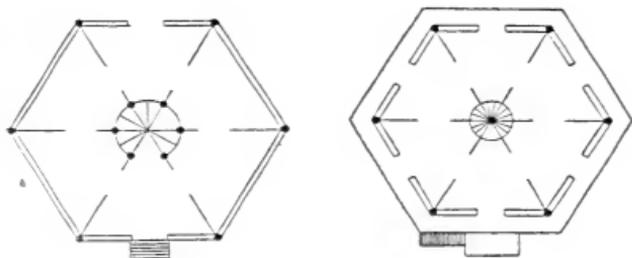


Fig. 16.

Faros del Fangar (lám. XIII, figs. 3 y 4).—La luz de sexto orden de la Punta del Fangar exige 8 metros de altura desde el suelo hasta el foco luminoso, y concurriendo así en el terreno

cómo en todo lo demás iguales circunstancias que en la Punta de La Baña, poco añadiremos á lo ya dicho.



Figs. 17 y 18.

Se adoptó y construyó el segundo de estos dos faros, en el que la torre estaba toda ella comprendida en el edificio, de cuyo techo sólo la linterna sobresale, pues pesaba solamente 26.200 kilogramos, mientras que el modelo representado por la figura 3 hubiera pesado 29.600.

Faro de Buda.—En la lámina XIII, figura 5, presentamos el semialzado y semisección de esta hermosa obra que tanto honra al arte ingenieril español.

Aunque por su importancia mereciera este faro una detallada descripción, no consideramos de este lugar hacerlo, sobre todo ya que pueden los lectores encontrar más detalles en la obra de curso de la Escuela de Caminos *Señales marítimas*, por el inspector D. Pedro Pérez de la Sala, y todos los planos y documentos del proyecto, incluso las valoraciones, en el ya citado tomo del año 1861 de la *Revista de Obras públicas*. Nos limitaremos, por consiguiente, á una ligera descripción y á algunas consideraciones sobre las características disposiciones adoptadas (*).

El conjunto del faro está formado por una pirámide octogonal de 50 metros de altura, contados desde el nivel del mar al foco luminoso, cuyo eje es la torre vertical que sirve de escalera de acceso á la linterna.

(*). El modelo de este faro, muy bien reproducido, se encuentra en el Museo de la Escuela de Ingenieros de Caminos.

Esta pirámide está dividida en 9 pisos por fuertes marcos horizontales de arriostramiento, bien triangulados y rígidos, que impiden toda aproximación de los montantes.

Estos montantes están constituidos por una llanta de $0,23 \times 0,025$, reforzada por dos angulares de $0,076 \times 0,076$ que aseguran su completa rigidez y se arriostran además con cruces de San Andrés en los planos de las pirámides, cada una de cuyas caras constituye una viga armada. Por último, varillas oblicuas completan la indeformabilidad del entramado, á la par que mantienen fijo el tubo de la escalera.

Este último tubo, que tiene 2 metros de diámetro y $36^m,15$ de altura, está formado por placas de palastro de $25^m/m$ de grueso, con cubrejuntas interiores y exteriores de 15 y $10^m/m$. En el interior lleva una escalera de fundición sujeta al tubo, y cuyos peldaños se enchufan en una barra vertical de hierro forjado de $50^m/m$ de diámetro, que contribuye á dar mayor resistencia al tubo, formando con él un todo rígido.

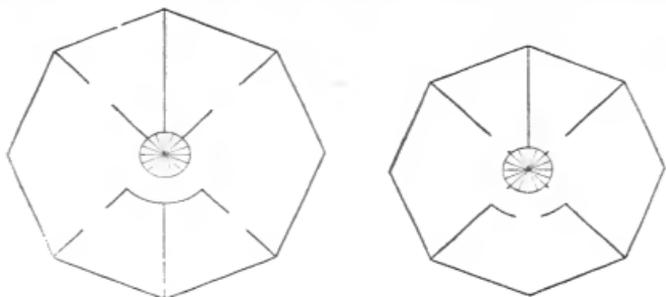
El marco horizontal inferior, compuesto de fuertes vigas en doble T de $0^m,53$ de altura, constituye la plataforma del faro y se apoya sobre 9 pilotes verticales de hierro dulce de $0^m,20$ de diámetro, con roscas helizoidales de $1^m,22$; repartiendo el peso total de la torre, de 180 toneladas próximamente, corresponden 20.000 kilogramos por pilote y 1,74 kilogramos por centímetro cuadrado de la rosca, inferior al tipo de 4,40 kilogramos que los ingenieros ingleses admiten para los pilotes de rosca en terrenos poco resistentes.

Los pilotes llevan en su parte superior un vástago para enchufar en él un capitel destinado á sostener las vigas de la plataforma, que se sujetan con tornillos á la placa de este capitel. El pilote central tiene un capitel de mayor base, pues además de unir las vigas radiales de la plataforma sostiene una columna de fundición de $0^m,61$ de diámetro exterior, sobre la que á su vez se apoya el tubo de la escalera, columna que se prolonga hasta el piso primero de la casa de torreros.

Esta casa se ha dispuesto en la parte baja de la torre, lo que no sólo facilita su acceso, sino que contribuye en gran parte á la estabilidad del faro, haciendo que su centro de gravedad se encuentre lo más bajo posible.

En el tercer piso de la torre, que tiene 6 metros de altura, se encuentran las habitaciones de los torreros, divididas en dos pisos

cuyas plantas se representan en las figuras 19 y 20. Las hojas de palastro que las forman están forradas de tabla.



Figs. 19 y 20.

Entre la segunda y la tercera plataforma hay otro piso, que termina por una bodega en forma de pirámide, comprendida entre la primera y segunda plataforma, sirviendo estos espacios de depósitos para víveres, aceite, materiales y todos los útiles y efectos necesarios en un faro.

Torre de señales de Bilbao (lám. XIII, fig. 6).—Al extremo del dique de Portugaleta, que hemos descrito en el capítulo anterior, se ha dispuesto una torre de señales, fundada sobre pilotes de rosca, cuyo proyecto es debido al distinguido ingeniero don Evaristo de Churruca.

Al nivel del piso del muelle-dique se ha establecido la primera plataforma, que tiene 12 metros en cuadro, sostenida por 25 pilotes iguales al representado en la lámina XV, figura 2. Los 9 pilotes centrales están hincados verticalmente; los 16 restantes del perímetro exterior tienen un talud de $\frac{1}{10}$.

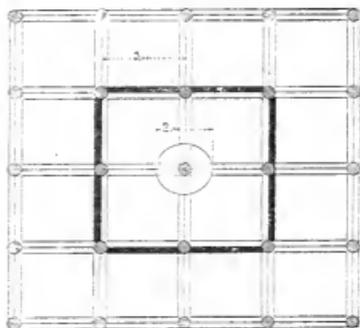


Fig. 21.

Desde esta plataforma á la linterna hay una torre para la escalera, de palastro y 2 metros de diámetro.

Encima de la primera plataforma y á 3 metros de altura se encuentra una segunda plataforma, fuera del alcance de las olas, y una casilla de 6 metros en cuadro, con varias habitaciones, cuya planta presentamos adjunta (fig. 21).

Los pilotes se han empotrado en un macizo de hormigón, escollera y bloques, análogamente á lo que se ha hecho en el dique; pero aquí llega el macizo hasta la primera plataforma, por estar el emplazamiento de la torre en el extremo del dique y muy expuesto, por consiguiente, á fuertes golpes de mar y violentas corrientes y resacas.

§ 3.—Observaciones sobre las disposiciones adoptadas en los faros con pilotes de rosca.

Del examen de los diferentes modelos que hemos descrito se desprenden las siguientes conclusiones:

Metal que debe emplearse.—No debe caber duda, después de las catástrofes ocurridas en los faros de Minot's Ledge y Bishop's Rock, que la fundición no debe nunca emplearse para los montantes de las torres.

Este material no resiste mejor que el hierro á los efectos destructores del agua salada, y como es quebradizo, no puede resistir á las fuertes oscilaciones producidas por los huracanes en torres elevadas y emplazadas en sitios abiertos á todos los vientos. Para conseguir con este material una obra sólida es menester multiplicar los elementos, y dar á la obra un peso exagerado, como en el faro de Coral-Reefs, cuya superestructura solamente pesa 356 toneladas para una altura de 40 metros; mientras que el faro de Buda, que alcanza 50 metros de altura y está construído de hierro laminado, sólo pesa 180 toneladas, es decir, *la mitad* que aquél.

Estas cifras evidencian mejor que nada la superioridad del empleo del hierro laminado.

Debe reservarse la fundición para las roscas y capiteles de pilotes (aunque hoy día conviene más el empleo del acero fundido), y para los faros en forma de torre. En éstos ya no existe el peligro, pues se forman con dobelas fuertemente unidas entre sí, constituyendo una columna perfectamente solidaria y

homogénea. Sin embargo, aun para esta clase de construcciones debe preferirse el empleo del hierro dulce, pues los progresos de la industria permiten obtener placas de palastro, de cualquier forma y dimensión, ya laminadas, ya embutidas ó prensadas.

Situación de la casa de torrerros. — Cuando es reducida la altura del foco luminoso sobre el nivel del mar, puede disponerse la casa de los torrerros debajo de la misma linterna, como sucede en los faros de Spit-Bank y Walde (lám. XII) y en el del Fangar (lámina XIII, fig. 4), siempre y cuando se arriostren los pilotes en todos sentidos y se les dé un talud bastante acusado.

Pero cuando la luz ha de situarse á más de 10 metros sobre el nivel del mar, debe procurarse situar la habitación de los torrerros lo más bajo posible, aunque fuera del alcance de las pleamarres y de las olas, poniéndola en comunicación con la linterna por medio de una escalera. Con esto se consigue, como hemos dicho, bajar el centro de gravedad de la construcción y darle gran estabilidad.

Disposición general del esqueleto. — *Estabilidad. Solidaridad.* —

El principio fundamental que debe inspirar todo proyecto de un faro metálico consiste esencialmente en que todas las piezas que constituyen el esqueleto de la torre formen un conjunto estable y solidario á la vez, pues que faltando cualquiera de estos dos requisitos en la obra de seguro dejaría de existir en un plazo más ó menos corto. Para lo primero, es decir, para conseguir la necesaria *estabilidad*, ya hemos dicho cuánta importancia tiene el colocar lo más bajo posible el centro de gravedad

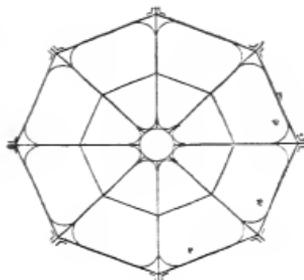


Fig. 22.

del edificio, es decir, la casa de torrerros. Necesitase, además, dar amplia base de sustentación á la obra, adoptando para los montantes taludes de $\frac{1}{10}$ por lo menos. Por último, es condición principalísima, cuando se apoya la obra sobre pilotes de rosca, que el peso total de la construcción se reparta de un modo uniforme sobre todos los pilotes, para lo que conviene distribuir los elementos en todo el perímetro y no acumularlos en el centro,

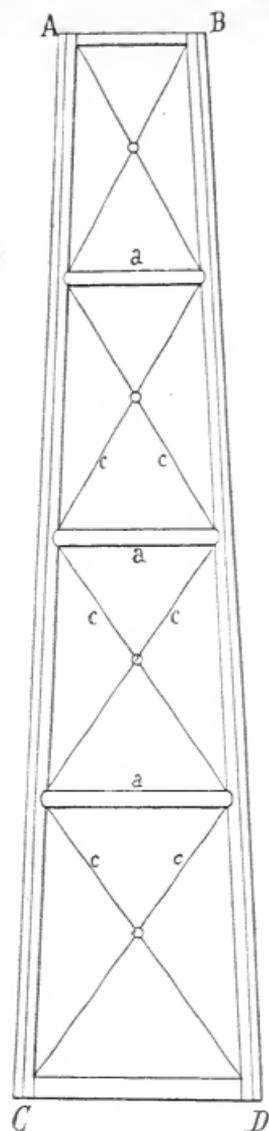


Fig. 25.

pues una disposición viciosa podría producir asientos ó roturas en el pilote central. Por esta razón ha tenido buen cuidado D. Lucio del Valle en apoyar toda la torre de

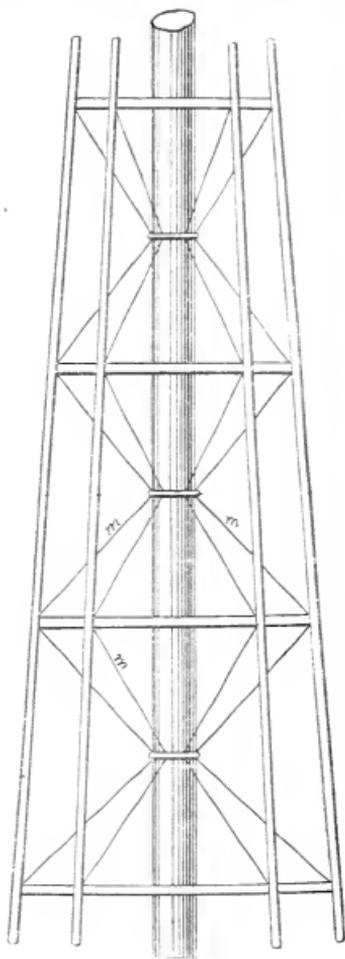


Fig. 24.

Buda sobre una muy fuerte y rígida plataforma horizontal de vigas de doble T de 0^m,53 de altura, análoga á la representada en la figura 22, y se han evitado así toda clase de depresiones ó asientos, que pudieran ser causa de una catástrofe.

Respecto á la *solidaridad*, claramente se comprende que habrá de conseguirse también con suma perfección siempre que se haga de figura invariable cada una de las caras de la pirámide, con tal que se liguén después todas ellas entre sí de la manera más conveniente á impedir el movimiento de los diferentes elementos que las constituyen.

Para obtener la primera de estas circunstancias, esto es, para hacer que cada dos montantes consecutivos estén unidos de manera que se evite su aproximación y separación, no hay mejor medio que el empleo de las piezas rígidas *aa* (fig. 23) y de los tirantes diagonales *cc*, que vienen á formar una verdadera viga armada de cada cara de la pirámide.

Por igual sistema se ligan unos con otros esos enormes trapecios ABCD, de manera que no puedan ceder á la flexión en ningún sentido, conservando siempre su posición natural. Una serie de armaduras ó marcos rígidos, horizontales y radiales, semejantes á la figura 22, de que forman parte las antedichas piezas *aa*, impiden se doblen los armazones hacia dentro. Por último, para evitar su separación hacia el exterior y dar al propio tiempo rigidez completa al tubo de la escalera, se atiranta todo el esqueleto con las varillas oblicuas *mm* (fig. 24).

Tales son los principios que siguió D. Lucio del Valle en la formación del proyecto del faro de Buda, y pueden servir de modelo para todas las construcciones análogas, pues no cabe duda que el faro situado en la embocadura del Ebro reúne todas las condiciones que pueden apetecerse en obra tan delicada como importante; no desmereciendo tampoco la obra desde el punto de vista estético, pues la vista queda satisfecha y la sensación de elegancia y ligereza que produce su aspecto no afecta en nada á la solidez que también se revela.



CAPÍTULO IX

DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE PILOTES METÁLICOS.

- § 1.—Roscas para amarras ó tornillos para terreno.
- § 2.—Pilotes de madera con roscas metálicas.
- § 3.—Pilotes de hierro dulce con roscas de fundición.
- § 4.—Roscas de palastro y de acero fundido.
- § 5.—Pilotes-tubos de fundición con roscas cónicas de fundición.
- § 6.—Tubos cilíndricos con hélices.
- § 7.—Pilotes metálicos de plataforma ó patín.
- § 8.—Pilotes metálicos de hélice para hincar por percusión.

§ 1.—Roscas para amarras ó tornillos para terreno.

(Lámina XIV, figs. 1 á 8.)

Si á un tornillo de hierro de pocas espiras se le da ciertas dimensiones, fácilmente se concibe que ha de penetrar por rotación en la mayor parte de los terrenos, necesitándose para esta hincas un esfuerzo muy pequeño y obteniéndose así unos amarraderos que resisten á grandes esfuerzos de tracción.

Para formarse una idea de esta resistencia, bástenos citar una de las experiencias del inventor Mitchell: un tornillo de 0^m,46 de diámetro, introducido en el lecho de arena del río Tyne, á una profundidad de 0^m,96, resistió á un esfuerzo vertical de 5.000 kilogramos, y para extraerlo fué preciso desenterrarlo.

Este es el principio fundamental en que se fundó Mitchell para aplicarlo al amarre de las boyas, valizas y otros cuerpos flotantes que necesitan permanecer siempre en una situación fija.

Sabido es que estas boyas y valizas se fijaban generalmente por medio de cuerpos muertos, que podían consistir: 1.º, en áncoras; 2.º, en masas de hierro fundido, generalmente constituidas por un hemisferio de 600 á 900 kilogramos; 3.º, en bloques de piedra ó artificiales; 4.º, en cajones de madera rellenos de piedra.

El orden numérico que clasifica estos cuerpos muertos es también el de su preferencia relativa, pues sin duda alguna las áncoras, á igualdad de peso, presentan mayor resistencia y son de más fácil manejo; pero el gran peso que requieren, y por ende su elevado precio, no permite generalmente su empleo.

Los demás sistemas de fijación de boyas son más económicos, pero en cambio se mueven con facilidad cuando se encuentran en parajes sometidos á fuertes corrientes ó cuando se utilizan para amarrar grandes barcos.

El tornillo de hierro, con un peso relativamente pequeño, obvia todos estos inconvenientes, y por esta razón la idea de Mitchell fué rápidamente utilizada en la mayor parte de los puertos, habiendo el inventor imaginado muy variadas disposiciones, entre las cuales merecen citarse las siguientes, que se representan en la lámina XIV.

El inspector D. Lucio del Valle, que fué por aquel entonces á Inglaterra comisionado por el gobierno para estudiar el invento de Mitchell y el valizamiento de las costas españolas, no vaciló en prohibirlo y proponerlo para las boyas de los puertos de Santander, Cádiz y Valencia, habiéndose publicado en la *Revista de Obras públicas* del año 1860 la interesante Memoria que escribió tan distinguido ingeniero sobre el resultado de sus estudios.

Los tres modelos que entonces se emplearon en los puertos españoles están representados en las figuras 5, 6 y 7.

Tienen las roscas de estos tornillos 1^m,22, 0^m,915 y 0^m,610 de diámetro respectivamente.

Los dos modelos mayores están provistos de un collar móvil, lo que permite á la cadena de la boya tomar fácilmente cualquier dirección sin ejercer esfuerzos de tensión sobre el tornillo, que pudieran llegar á ser considerables.

En el pequeño modelo, el collar es solidario del tornillo, y la cadena, que debe ser ligera, se fija directamente.

También, en la ría de Bilbao, el ingeniero D. Evaristo de Churrua ha empleado las roscas helicoidales para amarrar 50 boyas, de las cuales se establecieron 32.

Las roscas tienen 1^m,20 de diámetro y se han introducido próximamente 7 metros debajo del fondo de la ría. La cadena que va unida á ella está fabricada con hierro de 0^m,0635 de diáme-

tro, que por medio de un grillete giratorio se enlaza con otro ramal de 0^m,057 de diámetro, que se engancha á la boya mediante otro grillete. Las boyas son de forma de pera, de 2^m,28 de diámetro máximo y 1^m,88 de altura, sin contar el grillete inferior ni la argolla superior.

Las 50 boyas costaron puestas en obra 194.000 pesetas, es decir, 3.880 cada una por término medio, y prestan excelentes servicios, habiendo muchos días que pasa de 30 el número de barcos que suelen estar amarrados en ellas.

Para proceder á la hinca de estos tornillos de terreno es menester aplicar sobre su cabeza, que debe ser un tronco de pirámide ó prismático, un vástago de hierro que sirve de llave, al que desde fuera de agua se imprime un movimiento de rotación por medio de un cabrestante convenientemente acuñado.

Para los dos modelos mayores el vástago es de hierro redondo lleno, cuya extremidad inferior lleva una cavidad hembra de sección cuadrada que se adapta sobre la cabeza macho del tornillo de la misma sección y ligeramente piramidal (lám. XXVIII, figura 3).

El vástago para los tornillos pequeños es hueco y hexagonal (lámina XXVIII, fig. 4), como la cabeza del tornillo, y la cadena, que debe unir á éste con el cuerpo flotante, pasa dentro del tubo del vástago. Detallaremos las operaciones que requiere esta hinca en el capítulo XIV.

A pesar de las evidentes ventajas de las roscas Mitchell, no por eso debe creerse conveniente su exclusiva aplicación para amarras de boyas, pues aparte de que resulta más costoso, su misma solidez y resistencia dificultan su traslación á otros puntos y la sustitución de las cadenas cuando éstas se encuentran desgastadas por el rozamiento y la oxidación.

Es muy difícil extraer un tornillo, pues no pudiendo ni pensarse arrancarlo por tracción, es preciso, ó bien excavar la arena que recubre la rosca, ó desatornillarla por el mismo procedimiento con que se hincó.

Cuando están poco profundas, el trabajo de desenterrar las roscas no es considerable; pero cuando han sido introducidas á más de 3 metros de profundidad, es casi imposible la extracción de tornillos de gran dimensión, sobre todo cuando el collar es móvil, pues no hay medio práctico de llevar el vástago hembra sobre la cabeza del tornillo.

Por el contrario, las pequeñas roscas son más fáciles de extraer, introduciendo la cadena dentro del vástago hueco que se empleó para la hinca, y que, guiado por la misma cadena, llega á apoyarse y á agarrar la cabeza hexagonal del tornillo, que se extrae imprimiéndole un movimiento de giro en sentido contrario.

Se ve, pues, que el empleo de las roscas Mitchell debe reservarse para los casos en que la boya se encuentre en sitios peligrosos, en que las corrientes ó las olas produzcan grandes movimientos ó para cuerpos flotantes que tengan que resistir á considerables esfuerzos de tracción.

Así es que en los puertos de Santander, Cádiz y Valencia, de 126 boyas establecidas, sólo se amarraron con tornillos de terreno las 72 más importantes y expuestas.

En cuanto á la clase de terreno conveniente para esta clase de amarras, puede decirse que es indiferente, pues si bien el más común que se encuentra en los puertos consiste en arenas y fangos, en los que penetran con gran facilidad los tornillos, también se han hincado éstos en terrenos duros, y hasta en los bancos de coral y rocas madreporicas, tan frecuentes en los mares del hemisferio Sur.

Para esta clase de terrenos se emplea la rosca-taladro representada por la figura 8, que como se ve es muy maciza, tiene una hélice de gran paso y poco saliente y está guarnecida por una punta acerada.

§ 2.—Pilotes de madera con roscas metálicas.

(Lámina XIV, figs. 9 á 16.)

Aplicando el principio de Mitchell, y con objeto de evitar los inconvenientes de la hinca de los pilotes de madera por percusión, que no sólo exige grandes esfuerzos, sino que expone los pilotes á romperse ó torcerse, se han sustituido los azuches con que se suelen guarnecer por otros en forma de tornillo, que permite la hinca de los pilotes por rotación, sin sacudidas bruscas y sin romper las capas estratificadas que se suelen encontrar.

Según el destino á que se aplican, las roscas sufren modificaciones, entre las cuales pueden citarse:

Fig. 9.—Azuche-tornillo, empleado en muchos puertos de Holanda. Es de hierro fundido, cónico y con una hélice de varios pasos.

Interiormente tiene una sección poligonal, en la que se introduce fuertemente la extremidad del pilote de madera fijándose además con un perno.

Fig. 10.—Es una hélice cónica de palastro que se fija con clavos á la extremidad del pilote de madera previamente torneada. Su inventor, Mr. Camuzat, es el que imaginó el primero el empleo de azuches de palastro para los pilotes de madera que habían de hincarse por percusión.

Fig. 11.—Postes de tornillo para vallas, cercas de todas clases, que se emplean mucho en Inglaterra para limitar las fincas.

Fig. 12.—Aumentando la longitud del tornillo, que alcanza entonces un peso de 25 kilogramos, se obtiene un apoyo perfecto y seguro para sujetar los postes telegráficos ú otra clase de señales, habiéndose empleado millones de este tornillo para las líneas telegráficas de las colonias inglesas, y siendo muy de recomendar su empleo para igual objeto en todos los países cálidos, donde la madera hincada en el terreno se pudre rápidamente.

Fig. 13.—Representa los pilotes de madera con tornillo y azuche de fundición reunidos por una varilla de hierro, que se emplearon al principio en el gran rompeolas de Portland. Los pilotes eran de pino del Canadá inyectados de creosota á razón de 144 kilogramos por metro cúbico. La parte metálica del pilote pesaba 457 kilogramos.

Fig. 14.—Es el pilote empleado en el viaducto de Well-Creek. El azuche de fundición, en el que viene á encajarse la extremidad del pilote de madera, tiene un espesor de 0,025. El peso de este azuche era de 190 kilogramos.

Fig. 15.—Se ha empleado este pilote para terrenos resistentes en varios puentes y viaductos de un ferrocarril de Noruega. El azuche, que es todo cónico, pesa 203 kilogramos.

Fig. 16.—Es un modelo para terrenos poco resistentes; la rosca sólo da vuelta y media, y pesa el azuche 152 kilogramos.

En el puente para el ferrocarril de Interlaken (Suiza), y en otras muchas obras de aquel país, se ha empleado con éxito el

pilote representado por la figura 25 adjunta. Consiste en un hierro en doble T, entre cuyas alas se enchufan dos listones de roble que le dan una sección circular.

La punta se chafana, y el conjunto, que se asemeja á un pilote ordinario, se hinca como éstos por percusión.

A esta categoría de pilotes pudiera también asimilarse el empleado en un muelle de Huelva, que representa la lámina XVII, figura 4; pero lo describiremos más adelante, § 5.

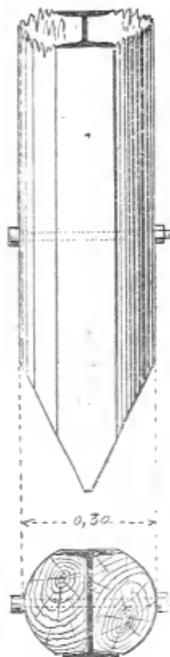


Fig. 25.

De estos modelos se han derivado infinidad de pilotes empleados en gran parte de las obras que hemos examinado, entre los que citaremos:

Fig. 19.—Pilote del dique de la desembocadura del Delaware (Estados Unidos) (1). El tornillo está formado por dos medias hélices, cuyo radio máximo llega á 0 m,45. La hélice está fundida con el cubo, y el pilote se introduce en una caja hexagonal abierta en

§ 3.—Pilote de hierro dulce con roscas de fundición.

(Lámina XIV, figs. 17 á 25, y lám. XV, figs. 1 á 9.)

Los pilotes de madera que hemos examinado se sustituyen hoy día por vástagos de hierro dulce ó tubos de fundición.

Ya Mitchell había construido pilotes de esta clase, y en la Exposición de París de 1855 figuraron los dos modelos representados por las figuras 17 y 18 de la lámina XIV.

La figura 17 representa un pilote para muelles, puentes, etc., cuya rosca de fundición pesa 60 kilogramos.

La figura 18 es el pilote para faros, cuya rosca, casi plana, alcanza ya el diámetro de 1 m,23. El vástago de hierro dulce tiene un diámetro de 0 m,203, y la rosca propiamente dicha pesa 280 kilogramos.

(1) Se describe esta obra en el capítulo VII.

el cubo, fijándose ambas piezas con un perno. Los pilotes, algunos de los cuales pesaban 5.000 kilogramos, eran de una sola pieza.

Fig. 20.—Representa el pilote empleado en los pequeños faros de los Lagos Amargos, en el canal de Suez (1). El cubo, que es macizo y de fundición, pesa 360 kilogramos y en él se introduce la extremidad del pilote de hierro dulce.

Fig. 21.—Pilote proyectado por nuestro compañero D. Enrique Galán para el muelle de Bayona (Pontevedra) (2), para un terreno arenoso con cantos sueltos. La sección de las hélices está encorvada en su unión con el cubo, disposición muy conveniente, pues refuerza este punto débil é impide su rotura por efecto de un esfuerzo cortante considerable, cual suelen producirse en suelos donde menudean las piedras. Análogo á este modelo es el pilote del muelle de Vigo que se representa en la lámina XXVII, figura 3.

Fig. 22.—Pilote del puente de Lewes. Siendo el terreno muy flojo, la hélice tiene un gran diámetro (1^m,07), con un paso apenas apreciable.

Fig. 23.—Es el modelo adoptado por la fábrica de Gouin y compañía, de París, para diferentes obras construídas en la India francesa en 1865 por cuenta del ministerio de Marina.

Fig. 24.—Pilote del puente sobre el río Neto, del ferrocarril de Tarento á Reggio (3). Como el terreno es duro, la hélice es más espesa y tiene paso bastante rápido.

Fig. 25.—Es el modelo empleado para algunos puentes del ferrocarril de Rieti á Terni, construídos recientemente; pero en lugar de fundición, se ha preferido construir las hélices de *acero fundido*.

Las figuras 1 á 9 de la lámina XV representan también otros ejemplos de los pilotes de este sistema, que es sin duda alguna el que más se ha generalizado.

Fig. 1.—Pilote del puente Aleardi, de Verona (4). La hélice es cónica y de fundición como el cubo, en el que se introduce la extremidad del vástago de hierro dulce, que se fija con dos pernos en ángulo. El empalme de los dos trozos de pilote se ha

(1) Se describe esta obra en el capítulo VIII.

(2) Se describe esta obra en el capítulo VII.

(3) Se describe esta obra en el capítulo V.

(4) Se describe esta obra en el capítulo IV.

efectuado por medio del manguito, representado también en la figura. Consiste en un doble capitel de fundición reforzado por 8 nervios, y cuyas dos chapas se unían con 8 tornillos. Entre las dos mediaba, sin embargo, una pequeña cavidad que se rellenaba con plomo para que la unión fuese más perfecta.

Esta disposición ha producido muy malos resultados, y á ella se atribuye la ruina del puente de Verona, en la crecida extraordinaria del Adige en 1882. Los pilotes, al sufrir los choques de los cuerpos flotantes, dobláronse algo, comprimiendo los bordes de agua abajo de las dos bridas, que por ser de fundición se rompieron, arrastrando la caída de todo el puente.

Así es que en el nuevo puente (1), construído sobre pilotes con roscas de palastro (fig. 13 de la misma lámina), se sustituyeron los manguitos de fundición por unos tubos de acero fundido, mucho más resistentes.

Fig. 2.—Pilote del dique de Portugaleta (Bilbao) (2). El vástago del pilote es de sección hexagonal de 0^m,10 de diámetro.

Figs. 3 y 4.—Pilotes de los puentes de Leza (Portugal) y sobre el río Muga (provincia de Gerona), descritos en el capítulo V.

Fig. 5.—Pilote del faro de Walde (Francia), descrito en el capítulo VIII. Ofrece la particularidad de que los diferentes trozos del pilote se empalman á rosca, según se observa con claridad en el dibujo.

Figs. 6 y 7.—Son los pilotes del viaducto de La Guaira (Venezuela) y puente de la Viña del Mar (Chile) (3).

En el primero se resolvió construir la rosca de *acero fundido*, por temor á las roturas que pudieran ocasionar las piedras sueltas en la playa en que había de fundarse. En el segundo la rosca es de fundición y se hincaron en terreno de arena arcillosa.

Fig. 8.—Pilotes tipo Eiffel. Han sido empleados por la casa Eiffel en varias obras importantes de la Cochinchina francesa y del Tonkin, y convienen para terrenos resistentes, pues con este objeto se ha dado á la hélice un paso muy alargado y el ángulo del cono de la hélice es pequeño (próximamente 45°).

El diámetro máximo es de 0^m,600 y la hélice da dos vueltas y media. El cubo, con su hélice, pesa unos 200 kilogramos.

El pilote, de hierro dulce y 0^m,120 de diámetro, lleva en su ex-

(1) Se describe esta obra en el capítulo IV.

(2) Se describe esta obra en el capítulo VII.

(3) Se describen estas dos obras en el capítulo V.

tremidad una lengüeta saliente de 0^m,035 de longitud, que se introduce en una mortaja hembra que lleva el cubo. Además la unión se refuerza con un perno, y quedan cubo y pilote perfectamente encajados.

Este modelo, modificado en sus dimensiones y posteriormente sustituidas las roscas de fundición por otras de *acero fundido*, ha obtenido tal éxito que su empleo es general para todas las fundaciones de las obras construídas en aquellas dos colonias francesas.

Al ocuparnos de los puentes sistema Eiffel (capítulo VI) nos hemos extendido sobre tan interesantes aplicaciones.

Fig. 9.—Es el modelo empleado recientemente por la Compañía de los ferrocarriles del Sur de Francia (1), y como se ve muy parecido al tipo Eiffel. La rosca, el manguito y el capitel son de *acero fundido* y sus resultados han sido excelentes.

§ 4.—Roscas de palastro y de acero fundido.

(Lám. XV, figs. 10 á 16.)

Durante mucho tiempo sólo se construyeron roscas de hierro fundido; pero varios accidentes, ocasionados por roturas de los discos, hicieron pensar en el empleo del hierro forjado, que resiste mucho mejor al trabajo de flexión á que están sometidas las hélices en ciertos terrenos poco consistentes.

Los primeros ensayos de roscas de palastro se hicieron en el puerto de Hamburgo, pero el empalme de la rosca con el pilote resultó bastante deficiente.

Solamente el año 1870 fué resuelto satisfactoriamente este problema por el ingeniero inglés Mr. G. Preston White, que consiguió construir felizmente hélices de 1^m,83 de diámetro.

El procedimiento de fabricación consiste en cortar *en frío* en una hoja circular de palastro A (fig. 26) el pequeño círculo *abc*, concéntrico al perímetro, y cuyo diámetro coincide con el eje del pilote. Se abre entonces la hoja por uno de sus radios *cd*, redondeando sus bordes.

Se caldea después la hoja en un horno cuya temperatura no debe superar la necesaria para reblandecer suficientemente el palastro, y permitir que se adapte sobre un molde de fundición

(1) Véase capítulo V.

helizoidal (fig. 27) por medio de una prensa hidráulica cuya matriz lleva el molde inverso.

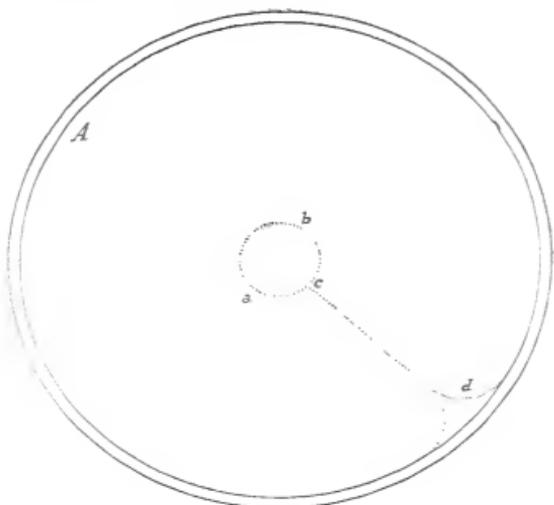


Fig. 26.

Se concibe fácilmente que la simple compresión de la prensa hidráulica obligue á la hoja interpuesta entre los dos moldes á tomar la forma helizoidal que se desea.

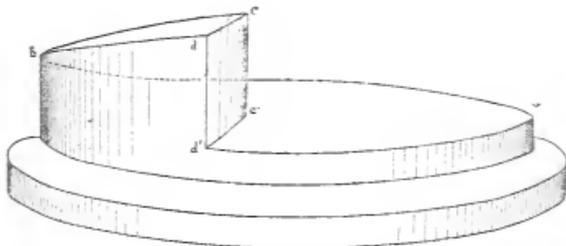


Fig. 27.

Para empalmar esta hoja, que será la rosca, con el vástago del pilote se emplean varios procedimientos, representados por las figuras 10, 11 y 12 de la lámina XV.

El primero consiste en encorvar helizoidalmente un hierro en ángulo, unido con roblones á la rosca y por medio de tornillos al pilote. Se puede también construir un fuerte manguito *ab, a'b* (figura 11) y practicar por medio del torno una ranura helizoidal en su cara exterior, en cuya ranura se introduce el borde interior de la rosca de palastro. Se empalma después el manguito al pilote por medio de dos pernos en ángulo recto.

Este manguito puede sustituirse por un cubo de fundición (figura 12), en el cual se introduce: interiormente, la extremidad del pilote, y por fuera, la hoja de palastro que forma la rosca (*).

Pero hoy día, el procedimiento más general es el que se ha seguido para los pilotes de los puentes de Verona, Curtarolo, Zevio y muelle de Mayagüez, representados respectivamente por las figuras 13, 14, 15 y 16 (lám. XV).

Los cubos son de fundición ó de acero fundido, y llevan una rosca helizoidal de menor diámetro que la hélice de palastro, que se une á su cara inferior por medio de roblones ó tornillos embutidos en las dos chapas superpuestas. Se consigue así una unión perfecta, y además la rosca de palastro va reforzada por el nervio helizoidal del cubo.

El procedimiento no puede ser más sencillo. Es evidente que la superficie total de la hélice no puede nunca ser mayor que la del círculo en el cual se ha recortado, mientras que con los pilotes de fundición se puede dar á la rosca todo el desarrollo que se necesite. Pero debe observarse que, en cambio, nada obsta á que se añadan al pilote y á la altura que se quiera otras espiras de palastro, con lo que se consigue el mismo resultado. La figura adjunta representa un ejemplo de este género, empleado en un muelle de hierro relleno de hormigón.

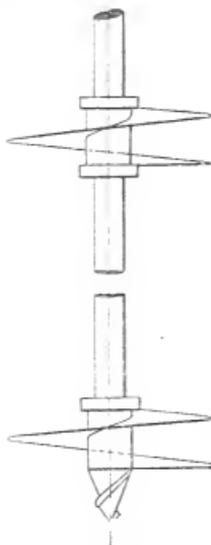


Fig. 28.

(*) Hemos tomado los anteriores datos de un artículo del ingeniero D. J. A. Reboledo, en la *Revista de Obras públicas* del año 1870, núm. 4.

Entre los ejemplos de esta clase de pilotes empleados con éxito presentamos los siguientes:

Pilote del puente de Curtarolo (fig. 14), descrito en el capítulo IV. El manguito y el cubo son de hierro fundido. El primero lleva unas orejas para la unión con las cruces de San Andrés, que arriostan las palizadas.

Pilotes del puente nuevo de Verona.—Tienen éstos 0^m,185 de diámetro; pero el diámetro de las hélices varía, siendo de 0^m,800 para los pilotes que sostienen el puente y de 0^m,600 para los que sirven de tajamares.

En vista de las roturas ocurridas en algunos de los pilotes del primer puente, de cuya destrucción nos ocupamos en el capítulo IV, se modificó el tipo de la rosca que antes describimos (figura 1), construyendo las hélices con hojas de palastro fuertemente roblonadas á los nervios de fundición del cubo. Además, la punta del cubo es de acero fundido.

El pilote, que termina con una espiga de sección cuadrada, se introduce en la caja abierta en el cubo de fundición de la rosca, y se sujeta y asegura el empalme con un aro y un perno de hierro.

Los trozos de pilote se empalmaron con manguitos de acero fundido en lugar de los de fundición, que tan deplorable resultado dieron en el primer puente y que fueron la causa determinante de su destrucción.

Pilotes del puente de Zevio (fig. 15).—En el puente cuya sección transversal y planta se representa en la lámina II, figuras 4 y 5, se emplearon pilotes de tres dimensiones; pero todos análogos al de mayor dimensión, que se representa en la lámina XIX.

La rosca se compone de un alma ó cubo de hierro fundido terminado en tornillo cónico. al que se adapta una hélice de palastro de 32 milímetros de espesor y 0^m,250 de paso.

El pilote se une á la rosca introduciendo su extremidad, convenientemente chafanada, en una caja de sección mixtilínea y asegurando la unión con un perno.

Del mismo modo se empalman los trozos de pilote por medio de un manguito de fundición reforzado con tres aros de hierro dulce y dos pernos que atraviesan el conjunto.

En el capítulo XIV se dan detalles de la hincas de estos pilotes.

Roscas de acero fundido.—Para obviar los inconvenientes de las hélices de fundición, que como es sabido son susceptibles de romperse si en el terreno se encuentran gruesas piedras ó capas duras, se han construido en algunos casos las roscas de acero fundido. Aparte de la diferencia en el material, no tienen éstas ninguna disposición especial que las distinga de las roscas de fundición, pudiéndoseles dar las mismas formas y dimensiones.

De los modelos que presentamos, las obras construidas con roscas de acero fundido son los puentes del ferrocarril de Rieti á Terni (lám. XIV, fig. 25), el viaducto de La Guaira (Venezuela), cuyo pilote se representa en la figura 6, lámina XV, y el muelle de Mayagüez (lám. XV, fig. 16).

También se construyen con este material las roscas para el puente de Rivadesella (lám. XVI, fig. 8).

§ 5.—Pilotes-tubos de fundición con roscas cónicas de fundición.

(Lámina XVI.)

Mitchell había ya empleado roscas cónicas de fundición, empalmándolas con pilotes de madera (lám. XIV, fig. 14). Sustituyendo la madera por un tubo de fundición, se obtiene una disposición que se ha empleado con éxito en varios puentes.

Pilotes de la fábrica del Creusot.—La figura 1 de la lámina XVI representa el pilote empleado en el puente de Saigón, y la figura 2 el pilote del viaducto de Santarem, ambas obras construidas por la fábrica de Schneider y comp.^a, Creusot (Francia), y descritas en el capítulo IV.

El tipo de pilote es el mismo, sólo las dimensiones varían.

La forma de la hélice es cónica; pero el ángulo del cono, el paso y el diámetro de la hélice, varían según la resistencia del terreno. Así, por ejemplo, en Saigón era el terreno duro, el ángulo es de 53°, el diámetro máximo de 0,885; en el viaducto de Santarem el suelo estaba constituido por arena fina; fué necesario aumentar el ángulo á 103°, y el diámetro alcanzó 1^m,40.

Debemos, sin embargo, hacer constar que en esta última obra cada tramo de 15 metros estaba solamente sostenido por dos pi-

lotes, y por consiguiente era menester aumentar proporcionalmente la base de apoyo para que la presión sobre el terreno no llegara á un límite excesivo

Los tubos-pilotes del Creusot ofrecen una particularidad: son ligeramente cónicos. En Saigón tienen $0^m,30$ de diámetro en la base y $0^m,26$ en el vértice. Los del viaducto de Santarem tienen respectivamente $0^m,50$ y $0^m,45$ en la base y vértice.

El empalme de la rosca con el tubo inferior se efectúa, como indican las figuras 1 y 2, por enchufe, de modo que no ofrezca saliente el cilindro exterior. Dos pernos sujetan el conjunto.

Los diferentes trozos de tubo que no habían de penetrar en el terreno se unían por medio de bridas y tornillos, según se ve también en las figuras.

Pilote sistema Oppermann.—Este ingeniero ha propuesto y empleado un modelo de tubo análogo al del Creusot. Los describiremos al ocuparnos de una interesante aplicación hecha en el puente de Vouneuil-sur-Vienne, sobre la que nos extenderemos, porque evidencia una muy interesante utilización de los pilotes de rosca.

Pilotes del puente de Vouneuil-sur-Vienne (lám. XVI, fig. 3).—Este puente, cuyo proyecto es debido al ingeniero Mr. Grange, director de las obras del departamento de la Vienne, se compone de 5 arcos escarzanos iguales de 19 metros de luz (*).

Se fundaron los estribos sobre un fuerte banco de arenisca; pero cuando se quiso cimentar la primera pila de fábrica, se observó, por los sondeos previos, que el banco de arenisca estaba compuesto por una capa delgada y poco resistente, superpuesta á otra capa espesa de arena gruesa y arcillosa.

Con el fin de conocer con precisión la naturaleza del lecho del río, y de poder fijar seguramente el sistema de fundación conveniente para las otras tres pilas, se decidió fundar la primera pila sobre tres tubos de fundición de $1^m,50$ de diámetro interior, constituidos por segmentos anulares que se enchufaban entre sí.

Un operario pudo moverse con facilidad en estos tubos, previamente agotados por medio de una bomba centrífuga movida

(*) Pueden verse los detalles de esta obra en los *Annales de la construction* de Oppermann, 1879.

al vapor. Excavaba el fondo, los productos se extraían al exterior con dos cajas colgadas por medio de un cable y polea movida por un torno, y así descendieron los tubos poco á poco.

Hubo que llevar la hınca hasta 11 metros de profundidad para encontrar un banco de arenisca espeso y resistente; pero este procedimiento, si bien permitió conocer exactamente la naturaleza del lecho del río, resultó costoso, y sobre todo muy lento, pues la fundación de la primera pila exigió los seis meses favorables de la campaña.

Pensó entonces Mr. Grange recurrir al empleo de pilotes de rosca, unidos superiormente por un emparrillado de roble sobre el que descansaría el zócalo de cada una de las tres pilas restantes.

Pero como el empleo del aire comprimido parecía también muy indicado, se puso á concurso la fundación de las 3 pilas. La proposición más ventajosa fué de 35.000 francos por pila, es decir, 105.000 para las tres. Se desistió del aire comprimido, decidiéndose por los pilotes de rosca, y con ellos se lograron fundar las tres pilas por 35.944 francos, es decir, una tercera parte de lo que hubieran costado por el aire comprimido.

Estas cifras hacen resaltar la economía del sistema.

Debemos añadir que este puente, construído en 1879, no ha experimentado ninguna grieta ni asiento, á pesar de haber sufrido muy violentas crecidas, y que Mr. Grange ha quedado tan satisfecho de los pilotes de rosca, que ha escrito últimamente una muy interesante obra sobre su empleo (*), recomendando los pilotes metálicos para cuantos casos puedan utilizarse.

Describiremos ahora el pilote empleado (lám. XVI, fig. 3).

Este pilote no difiere del tipo Creusot, anteriormente descrito, más que en el modo de empalme de sus trozos. Los del Creusot se unen con bridas, los tubos sistema Oppermann se enchufan.

Cada trozo, que tiene 3^m,20 de longitud, lleva en su parte superior un ensanche en una altura de 0^m,30 con un borde interior, sobre el que se apoya la extremidad inferior del tubo siguiente. Dos pernos cruzados de hierro dulce de 0^m,030, atornillados en la parte que forma virola, sujetan suficientemente los dos trozos.

(*) *Etude sur les pieux métalliques*. Paris, 1892.

Los terrenos que había que atravesar eran poco consistentes, y sólo ofrecían alguna resistencia en una capa de 0^m,20 de pizarra, que se encontraba en medio de la capa de arena gredosa. Se adoptó, pues, para la rosca un tipo de resistencia media, con ángulo exterior de la hélice de 90°.

La hélice, que da dos vueltas enteras, tiene un diámetro máximo de 0^m,680 y mínimo de 0^m,350.

En el capítulo XIV reseñaremos interesantes detalles sobre la hinca de estos pilotes.

Pilotes del puente sobre el río de las Piedras (Huelva) (figuras 4, 5, 6 y 7). — Hemos descrito en el capítulo IV el puente construido sobre el río de las Piedras en la provincia de Huelva y cuyas palizadas están constituidas por 4 columnas de fundición, con rosca cónicas.

Estas palizadas, cuyo conjunto puede verse en las figuras 1 y 2 de la lámina III, se representan en detalle en la lámina XVI, figuras 4 á 7. Las columnas son tubos de fundición de 0^m,25 y 0^m,20 de diámetro exterior é interior respectivamente, lo que da un espesor de 25 *m/m*.

La figura 5 representa el alzado de una palizada, vista paralelamente al eje del puente, y la figura 4 la sección transversal de la misma. Como se ve, el extremo superior de los tubos se cubre con un capitel de fundición que se une con pernos á la placa de apoyo de los rodillos dilatadores de las vigas.

En aquellas palizadas en que el apoyo es fijo, el aparato de dilatación está sustituido por un cojinete de fundición, representado por las figuras 6 y 7, que se une al capitel del pilote y á la cabeza inferior de la viga por cuatro series de pernos.

El arriostramiento de las palizadas en el sentido transversal está constituido por una gran cruz de San Andrés, formada por dos viguetas armadas oblicuas y otras dos horizontales. Se enlazan á las columnas por medio de collares de hierro forjado que abrazan á éstas.

En el sentido paralelo al eje del puente, los pilotes sólo se encuentran á 1^m,40 de distancia. Así que el arriostramiento es distinto, formándose con dos cruces de San Andrés de hierros en T y tres tirantes horizontales.

Los trozos de tubo se empalman á brida, obteniéndose la unión con 12 pernos de tornillo. El detenido examen de las

figuras permite apreciar todos los detalles de esta interesante disposición de palizada.

Pilotes del puente de Rivadesella (1) (lám. XVI, fig. 4).—Al mismo tipo pertenecen los pilotes que hemos proyectado para el puente de Rivadesella; sólo que la superioridad, temiendo la rotura de las roscas que propusimos de fundición, ordenó que se ejecutaran de *acero fundido*.

Como el terreno es de arena en su mayor parte, hemos dado á la hélice poco paso y bastante diámetro (0^m,800), y sólo da vuelta y media. Los empalmes entre los trozos de tubos se efectúan todos por igual, á brida con 6 tornillos; sólo que con objeto de evitar la resistencia que á la hincá pudiere oponer el saliente de las bridas, lo hemos reducido todo lo posible con la disposición que se ve en la figura.

El tubo es cilíndrico en toda su longitud, y tiene 0^m,250 de diámetro exterior y 25 milímetros de espesor, lo que da una sección normal de 17.662 milímetros cuadrados.

En los extremos de los tubos (sección AB), la sección es de 18.470 milímetros cuadrados. Vemos, pues, que no se debilita nada el tubo con la disposición de la brida entrante. Es obvio manifestar que los espacios destinados á los tornillos de las bridas son lo suficientemente amplios para permitir la introducción y movimiento de la llave que ha de apretar esos tornillos, que tienen un diámetro de 20 ^m/_m.

§ 6.—Tubos cilíndricos con hélices.

(Lámina XVII.)

Cuando los terrenos son muy flojos se debe aumentar el diámetro de la hélice, y como no necesitan ya los pilotes tener fuerza de penetración, se puede suprimir el cono en que suelen terminar los modelos que hemos examinado, permitiendo que el terreno invada el tubo por su extremidad inferior, que queda abierta.

Se obtiene así un género de pilotes que pueden llamarse tubos cilíndricos con hélices, y que ya había imaginado Mitchell, pues que entre los modelos propuestos el año 1855 había el representado por la figura 1, proyectado para terrenos flojos.

(1) Se describe en el capítulo VI.

Pilote de Amberes (fig. 2).—En un puente de la fortaleza de Amberes (Bélgica) se emplearon también con gran éxito estas columnas ó tubos cilíndricos, abiertos por su base inferior, pero con dos hélices, una exterior y otra interior, de paso doble de la primera.

La hélice exterior (que tenía 20 mm. de espesor en la periferia y 55 mm. en su arranque) estaba destinada á soportar la carga, aumentando la superficie de apoyo; la rosca interior servía principalmente para cortar y levantar el cilindro de terreno que entraba en el tubo; esta rosca tenía un saliente de 50 milímetros y un espesor máximo de 40 milímetros.

El empalme de los trozos de tubo se efectuaba atornillando la extremidad inferior de uno en el extremo superior del tubo inferior, torneando previamente en rosca los dos extremos.

La figura 3 representa el extremo del tubo y la rosca empleada en el puente de Marateca, descrito en el capítulo IV y cuyos detalles pueden verse en la lámina XIX.

Pilote del puente de Azambuja.—Pero posteriormente á la ejecución de esta obra, construida en 1884 por la fábrica belga Valentín y compañía (Willebroeck), la misma casa construyó en 1891 otro puente del mismo sistema sobre el canal Azambuja, también descrito en el mismo capítulo, y en el que se perfeccionó algo el pilote, corrigiéndose los pequeños defectos que en aquél se encontraron, obteniéndose así el modelo cuyos detalles presentamos en la lámina XX.

Los empalmes de los trozos de tubo se efectúan como en los del puente antes citado, por enchufe; pero se aumentó la longitud de éste hasta 0^m,200, reforzando la unión con seis tornillos de 35 ^m/_m de diámetro. A la rosca propiamente dicha (figura 5) se le ha añadido interiormente una rosca inversa, análogamente á lo que se hizo en el puente de Amberes, con objeto de ayudar á la penetración, que debía alcanzar profundidades de cerca de 20 metros.

La cabeza del tubo-pilote termina en sección cuadrada para facilitar los empalmes con las vigas que han de constituir la plataforma de apoyo de los tramos. Cada trozo de tubo tiene una longitud de 2^m,948, y como por la constitución fangosa del canal fué preciso dar á los pilotes alturas de 18^m,900 y 25 metros, hubo que formar éstos con 6 y 8 trozos de tubo.

Pilote del muelle de Huelva (figs. 4 y 5).—Se han empleado en esta obra, que describimos en el capítulo VII, dos clases de pilotes. Unos completamente metálicos, representados en la figura 6 de la lámina XXVII, y otros mixtos, de madera y fundición (lámina XVII, figura 4).

Las rosca son iguales en ambos casos y tienen $1^m,30$ de diámetro.

Para empalmar el tubo de fundición con el pilote de madera, de sección cuadrada y 33 centímetros de escuadría, se dispuso un regatón de hierro fundido MNPQ, que se unía al tubo por medio de un manguito RR. La figura da completa idea de esta disposición.

Pilote del muelle de la Rábida (fig. 6).—En este muelle, recientemente terminado y que hemos descrito detalladamente (capítulo VII), se ha empleado un pilote análogo al anterior por las dimensiones del tubo y de la rosca. Difiere solamente en pequeños detalles que se aprecian en la figura.

Pilotes de los puentes de Zumaya ⁽¹⁾ (lám. XVII, figs. 7 á 13).—Son de fundición, cilíndricos y huecos, y llevan hélices de $0^m,92$ de diámetro; la base del tubo está recortada en forma de sierra, como los anteriores tubos descritos.

La rosca se enchufa en el pilote, que está á su vez constituido por tubos de $0^m,30$ de diámetro exterior y 10 milímetros de espesor, reforzado por cuatro nervios verticales, fundidos con el tubo y con un saliente de $0^m,065$.

Los empalmes entre los trozos de tubo, que tienen $5^m,55$ de longitud, se efectúan por medio de falsas bridas, constituidas por hierros en ángulo, encorvados y roblonados en los extremos de los tubos (sección AB, figs. 10 y 11).

Para que los nervios verticales y las bridas no dificulten la hinca, se guarnecieron los huecos que dejan con piezas de madera en forma de dobelas, que se sujetaron á los tubos por medio de aros de hierro de $0^m,05$ por $0^m,01$ y se enchufaron en frío y á golpe de mazo (figs. 10 y 12).

Los cuatro nervios del tubo inferior encajan en unas ranuras abiertas en la cabeza del tubo de la rosca y se completa la unión con pernos (figs. 8, 10 y 13).

(1) Se describen estos puentes en el capítulo IV.

Todos los tubos que acabamos de describir no exceden de $0^m,35$ de diámetro; pero esta dimensión se ha superado notablemente en algunas obras, entre otras en el puente de Chepstow, construido por el célebre ingeniero Brunel.

Los tubos de fundición de este puente alcanzaron la extraordinaria dimensión de $1^m,80$ de diámetro, y llevaban exteriormente hélices fundidas en el tubo.

En el puente de Néstor, para el ferrocarril de Bukarest á Giurgevo (Rumania), las palizadas estaban constituidas por tubos de fundición de $0^m,92$ y $1^m,22$ de diámetro, siendo respectivamente de $1^m,52$ y $1^m,83$ los diámetros de las hélices.

Tubos del viaducto de Taptee (India inglesa) (lám. XVII, figuras 14 á 17).—Esta obra, que puede considerarse como un modelo en su género y que describimos en el capítulo V (lám. IV), se apoya sobre tubos de fundición de $0^m,762$ de diámetro exterior, que se representan en las figuras 14 á 17.

Los trozos de tubo tienen $2^m,745$ y se empalman entre sí por medio de bridas y tornillos. Estas bridas son exteriores en la parte de los tubos que ha de quedar fuera del terreno (fig. 15); pero el último empalme que ha de estar enterrado lleva sus bridas dentro del tubo (fig. 16), con objeto de evitar obstáculos á la hinca.

El espesor del tubo es de $25,4$ m/m , pero en la base (fig. 17) se aumenta hasta $31,7$ m/m , en la parte en que lleva la hélice de $1^m,372$ de diámetro.

El trozo superior de tubo se cubre con un capitel de fundición convenientemente reforzado por nervios y sobre el que se apoyan las vigas del puente.

Los angulares y hierros T que arriostran unos tubos con otros vienen á unirse á orejas fundidas con el tubo y las bridas de empalme.

Tubo del puente de Koenisberg (figs. 18 y 19).—Se empleó este modelo en algunos puentes del ferrocarril del Sur de la Prusia occidental. Es algo mayor que el del viaducto de Taptee, pues la rosca alcanza un diámetro de $1^m,50$, con una pendiente de $0^m,26$, pero no está bien estudiado.

§ 7.—Pilotos metálicos de plataforma ó patín.

(Lám. XVIII, figs. 1 á 8.)

Si en los tubos cilindros con hélices, que acabamos de examinar, reducimos á cero el paso de la hélice, ésta se transforma en un disco circular plano, y el pilote toma el nombre de *pilote de patín ó plataforma*.

La primera aplicación que se hizo de este sistema fué en 1853, en los dos viaductos construídos sobre los bancos de arena de la bahía de Marecombe (Inglaterra), para el ferrocarril de Ulverstone á Lancáster, que hemos descrito en el capítulo V.

Para hincar estos pilotes, el ingeniero Brunlees tuvo la feliz idea de inyectar un potente chorro de agua debajo del disco de cada pilote, y de este modo fueron éstos descendiendo sin dificultad hasta la profundidad que se consideró necesaria.

En el capítulo XIV detallamos este nuevo y original medio de hinca, que se ha aplicado con éxito en algunas circunstancias.

Nos limitaremos aquí á describir los modelos más notables de pilotes de plataforma.

Lám. XVIII, fig. 1.—Es el modelo empleado para los dos viaductos de la bahía de Marecombe, en que se inauguró el sistema.

Está formado por un tubo de hierro fundido, que se termina en su parte inferior por un disco circular de 0^m,77 de diámetro, unido al tubo por seis refuerzos fundidos con él.

El diámetro interno del tubo es de 0^m,25 y sus paredes tienen un espesor de 19 milímetros.

En la cara inferior del disco lleva éste 6 nervios radiales, y en su centro queda una abertura de 76 milímetros, en la que se introduce un tubo de hierro dulce de 50 milímetros de diámetro, por el que se inyectaba el chorro de agua, á la par que se imprimía al pilote un movimiento de giro alternativo.

El agua inyectada daba á la arena una gran fluidez, los nervios del disco removían el fondo y el pilote descendía así unos 2 metros en veinte minutos. El mismo procedimiento de hinca, por inyección de agua, se ha empleado con pilotes de madera que se guarnecen con un patín de fundición.

La figura 2 representa el modelo empleado por Brunlees en el citado ferrocarril de Ulverstone á Lancáster. Los pilotes de roble tenían 0^m,3 de de escuadría, y el tubo que había de llevar

el agua comprimida á la superficie inferior del disco se fijaba por la parte exterior del pilote y atravesaba el patín por la abertura A.

La figura 3 representa un modelo mucho mayor de pilote de plataforma, empleado también en Inglaterra, en un puente sobre el Tay (Escocia). Hay 2 discos unidos por 4 fuertes tornillos, y el diámetro de los discos llega á 1^m,20.

El disco inferior lleva 12 nervios, de corte muy irregular, para facilitar la desagregación de la arena.

Pilote de plataforma sistema Oppermann (fig. 4).—El ingeniero Mr. Oppermann propone en sus *Annales de construction*, año 1881, un sistema de pilote de plataforma que puede ser susceptible de numerosas aplicaciones en obras provisionales y puentes de caminos vecinales sobre ríos de poca corriente, donde no sean de temer excavaciones.

Se componen estos pilotes:

1.º De un gran clavo de hierro forjado con un azuche de acero, que se hincan en el terreno con un martinete ó machina cualquiera.

2.º De un tubo de fundición que se enfile verticalmente en el clavo de hierro y que descansa inferiormente sobre el terreno resistente por medio de un ensanchamiento circular, óvalo ó poligonal, que sirve de plataforma y permite aumentar todo lo que se quiera la superficie de apoyo.

Se concibe la facilidad con que se puede instalar una palizada compuesta por dos ó tres de estos pilotes.

El clavo central se planta exactamente en el fondo del río, en el punto deseado, por medio de un andamio cualquiera, instalado en una lancha, que se sujeta en las dos márgenes por medio de dos cables convergentes y que permiten mover el barco.

Con dos instrumentos colocados en las orillas se determina el punto preciso en que ha de hincarse el clavo, que basta dejar caer por su propio peso para que se plante en el terreno en el punto de intersección de las dos visuales.

Se hincan el clavo con un martinete anular, movido por cuatro hombres, por cuyo centro pasa el clavo y que golpea un collar saliente, unido fuertemente al clavo. Este no necesita tener gran diámetro, pues no tendrá que resistir á ninguna presión vertical después de establecido el puente.

El tubo es el que llevará toda la carga, transmitiéndola al terreno sólido por medio de la plataforma.

Para obtener una fundación más segura conviene dragar previamente el emplazamiento de la palizada, aunque sólo sea en una profundidad de un metro, y extender una pequeña torta de hormigón que se enrasa después horizontalmente, consiguiéndose así una superficie de apoyo más regular.

En la figura 3 de la lámina VI se indica esta disposición.

Pilote de patín del muelle de Mayagüez.—Como hemos dicho al describir el muelle de Mayagüez, en las 5 palizadas próximas á la orilla, en que aparecía la roca al descubierto, se apoyaron los 20 pilotes por medio del patín de fundición representado por la figura 5, en sustitución de la rosca de acero fundido que termina los 108 pilotes restantes.

El patín tiene la forma de un capitel de pilote vuelto al revés; para su colocación se abrieron previamente en la roca cajas muy poco profundas para impedir todo movimiento lateral, y una vez bien sentado el patín se introducía en el extremo del pilote, sujetándolo con plomo fundido que rellenaba el intersticio anular que quedaba entre el patín y el pilote.

Pilote de patín tipo Eiffel (fig. 7).—En varios puentes metálicos construídos en el departamento de la Vieune por el ingeniero Mr. Grange se han empleado estos pilotes de hierro dulce, adoptados por la casa Eiffel para terrenos duros no socavables y para cimientos en roca.

Consiste en un hierro redondo de 0^m,120 de diámetro, pero que en lugar de terminar en punta, como los pilotes de hierro ordinarios, algunas veces empleados (fig. 6), llevan en su parte inferior un tronco de cono invertido de 0^m,150 de altura y cuyo diámetro inferior es de 0^m,300.

Se coloca en un barreno practicado en la roca, y se fija invariablemente rellenando el hueco con buen cemento.

Pilote de patín sistema Thomas y Foucart (fig. 8).—Este tipo de pilote, imaginado por los ingenieros MMr. Thomas y Foucart, y construídos en los talleres de Dyle y Baccalán (Burdeos), se aplica también para terrenos duros y rocas.

Consiste en un tubo compuesto por 4 hierros *zorés*, de 8 milímetros de espesor, ensamblados en forma de columna hueca.

Entre los nervios verticales, que tienen 53 milímetros de saliente, se coloca una llanta de 10 milímetros de grueso y con roblones se unen los nervios y la llanta interpuesta.

En la parte inferior del tubo se pone un zócalo de fundición, de 0^m,400 de diámetro y 0^m,075 de espesor, que á su vez descansa sobre una capa de cemento extendida en el fondo de una abertura de 0^m,50 de diámetro, abierta en la roca, con una profundidad máxima de un metro. Se asegura el empotramiento del tubo, del mismo modo que para el pilote antes descrito, con buen hormigón hidráulico.

Una vez colocado el pilote se envuelve en un tubo de palastro de 0^m,500 de diámetro, cuya altura debe superar un poco al nivel del estiaje y que se llena también con hormigón, con lo que no solamente se da más resistencia al apoyo, sino que se impide el contacto del agua con la parte del tubo constantemente sumergida. En el capítulo VI describimos el modelo de puente y palizada que los inventores de este pilote han estudiado para las aplicaciones á caminos vecinales.

§ 8.—Pilotes de hélice para hinca por percusión (sistema Pozzi).

(Lámina XVIII, figs. 9 á 12.)

Ya hemos visto cómo, reduciendo á cero el paso de la hélice, se llega á los pilotes de plataforma antes descritos.

Si, por el contrario, aumentamos el paso de la hélice hasta 8, 10 ó 12 metros, resulta un nuevo sistema, que no puede ya penetrar en el terreno por rotación, necesitándose proceder por percusión, de igual modo que en los pilotes ordinarios.

En las figuras 9 á 12 de la lámina XVIII presentamos los planos de dos modelos de pilotes, cuya disposición ha sido imaginada por el ingeniero Mr. Lauro Pozzi, que ha tenido la amabilidad de proporcionarnos numerosos é interesantes datos sobre su sistema de fundación, muy poco conocido aún.

Pueden considerarse estos pilotes como perteneciendo á un sistema mixto, puesto que se hincan como los pilotes ordinarios por percusión y por otra parte están provistos de nervios helicoidales que aumentan su superficie de apoyo.

Descripción del tubo de hélices.—El elemento principal que caracteriza este nuevo sistema está constituido por el tubo inferior que lleva las hélices.

Este tubo es de fundición, cilíndrico ó ligeramente cónico, terminando en punta. En la superficie exterior lleva el tubo unos nervios salientes, trazados helicoidalmente.

El diámetro del tubo y de las hélices, el número de éstas y su paso varían con la naturaleza y la resistencia del terreno, alargándose naturalmente el paso de las hélices y disminuyendo su diámetro para terrenos más duros.

La condición necesaria para obtener el mayor efecto útil del aparato, es que la proyección de las hélices en un plano perpendicular á su eje sea un círculo completo; si, pues, el tubo lleva dos hélices de 8 metros de paso, cada una de estas hélices debe extenderse en media vuelta; si tres hélices, $\frac{1}{3}$ de vuelta; si cuatro hélices, $\frac{1}{4}$ de vuelta. En estos diferentes casos, la longitud del tubo de hélices será respectivamente de 4 metros, 2^m,666 y 2 metros. Si el paso total de la hélice fuera de 10 metros, las longitudes del tubo de hélices serían entonces de 5 metros, 3^m,333 y 2^m,500.

Es menester además, para obtener el efecto máximo que se busca, que el diámetro total de la hélice sea constante é igual al del círculo de apoyo que se quiera obtener, aunque el del tubo varíe, como sucede en el modelo de la figura 11, en que es cónico.

Dimensiones.—Como hemos dicho, pueden variar entre límites estrechos, según la carga á que tengan que resistir y la naturaleza del terreno.

Así, el modelo núm. 1 (fig. 9) debe emplearse para terrenos resistentes (gravas, arcillas, margas, pudingas blandas, pizarras, etc.); la hélice debe tener un paso de 10 metros, y teniendo el tubo cuatro nervios, como generalmente debe adoptarse, resulta una longitud de hélice de 2^m,50, á la que hay que añadir 1 metro para la punta. El tubo es cilíndrico y tien 0^m,25 de diámetro, y la hélice sobresale 0^m,075, lo que da una superficie de apoyo total de 0^m,400.

Cuando el terreno es más fácilmente penetrable, es decir, cuando está constituido por arenas, terraplenes, guijos menudos, se debe reducir á 8 metros el paso de la hélice y aumentar el saliente de las hélices.

El modelo núm. 2 (fig. 11) cumple con estas condiciones. La longitud de las hélices se reduce á 3 metros, incluso la punta, y la proyección total del pilote tiene 0^m,550 de diámetro.

Sin embargo, débese también tener en cuenta otras circunstancias. Así, por ejemplo, cuando sea imprescindible hincar los pilotes á grandes profundidades para evitar probables socavaciones, conviene alargar las hélices y disminuir su saliente, aunque el terreno no sea duro, con objeto de facilitar la hinca.

Si, por el contrario, no fueran de temer socavaciones, puede evitarse una hinca profunda, en cuyo caso conviene reducir el paso de las hélices y darles mayor diámetro.

Cuando las capas de terreno aumentan en dureza con la profundidad, como ocurre muchas veces, se adoptan preferentemente los tubos cónicos (tipo núm. 2); disposición que corresponde á la variación de resistencia opuesta por el terreno á la penetración, y que permitirá la hinca completa, sin aumentar sensiblemente los esfuerzos de la percusión.

El resto del pilote, es decir, su parte superior, puede ser de fundición y fundido en una sola pieza, con la parte inferior como en el tipo núm. 2, ó bien formando un tubo distinto de hierro soldado ó fundido, que se enchufa con el tubo de las hélices en la forma indicada por la figura.

Basta para ello caldear ligeramente la parte inferior del tubo, lo que aumentará su diámetro; su enfriamiento producirá una compresión muy enérgica.

Para evitar roturas es menester que el tubo superior encuentre un apoyo perfecto sobre el tubo de las hélices, y á este efecto basta verter un poco de plomo fundido en la acanaladura que lleva el tubo de hélices.

Si se quisiera obtener un contacto más perfecto sería preciso tornear los cilindros de contacto, pero no es necesario.

Para terminar, diremos que este sistema de pilotes, empleado con éxito en varias obras construidas por el gobierno italiano (véase cap. VI), ha obtenido una medalla de plata en la Exposición nacional de Palermo del año 1892.

En el capítulo XIV daremos interesantes detalles sobre la hinca de estos pilotes de hélice.

CAPÍTULO X

ESTUDIO COMPARATIVO Y CÁLCULO DE LAS ROSCAS METÁLICAS

Material que debe emplearse en las roscas.—Dimensiones de las roscas.—Cálculo del espesor de las roscas.—Aplicación del cálculo á las roscas del puente de Rivadesella.—Rotura de las roscas del puente de Porto.—Determinación de las juntas de rotura de las roscas.

Material que debe emplearse en las roscas.—El accidente ocurrido el año 1861 en la prueba de la palizada del puente sobre el río Eo, del que luego nos ocuparemos, y otras roturas de hélices de fundición en varias obras, ha inspirado cierto recelo á muchos ingenieros sobre la resistencia á la flexión del hierro fundido, y hasta los hay que aconsejan que no se emplee nunca este metal en las roscas de los pilotes. Efecto de estos temores fué sin duda la prescripción de la Junta consultiva, ordenando se construyeran de acero fundido las hélices de los pilotes del puente de Rivadesella, que habíamos proyectado de fundición.

No están, sin embargo, del todo justificadas estas aprensiones, y la mejor prueba consiste en los muy numerosos ejemplos de roscas de fundición que hemos presentado, la mayor parte de las cuales se han hincado sin tropiezo y resisten con éxito trabajos flectores y hasta vibratorios.

No cabe duda que el hierro fundido es, de las tres clases de metal que pueden emplearse, fundición, hierro laminado, acero laminado ó fundido, el que menos resiste á los esfuerzos de flexión á que está sometido en las roscas de los pilotes; pero como por otra parte es el más económico, y sobre todo el que más fácilmente se presta á moldearse con las formas más variadas y caprichosas que pueden darse á las hélices, de aquí que su empleo ha sido tan general y que pueda seguir empleándose en terrenos de dureza uniforme, sobre todo en aquellos poco resistentes, como son los fangos y arenas algo fluidas.

Ahora sí, hay que tener muy presente el peligro de una ro-

tura si no se da á la rosca el espesor correspondiente á su trabajo, y que más adelante calcularemos; además no conviene exagerar los diámetros de estas roscas, que no debieran pasar de un metro, siendo preferible aumentar el número de los pilotes, con lo que se obtiene también una más regular distribución de las cargas.

Para terrenos más duros, y sobre todo para aquellos en que puedan encontrarse gruesos cantos que determinan una violenta flexión en las roscas, debe, en cambio, emplearse el hierro laminado ó el acero, ya sea fundido ó laminado, y dado la baja en los precios del acero fundido, cada día será más fácil la adopción de este material.

El acero, por su gran elasticidad, dureza y homogeneidad, se presta mejor que ninguno á esta clase de trabajos, y permite el seguro empleo de los pilotes, aun en terrenos duros, como son las margas, arcillas y terrenos de aluvión consistentes, pudiéndose adoptar con el moldeo formas variadas y en perfecta armonía con la clase de terreno en que tengan que penetrar los pilotes.

En cambio, las roscas de hierro laminado, aunque se han empleado con éxito algunas veces, presentarán siempre dos vicios originales, propios de su fabricación: 1.º, debilidad en su empalme con el cubo, que es justamente el punto más delicado de la rosca; 2.º, defectuosa repartición del material, pues las roscas tienen el mismo grueso en los bordes que en el arranque, y ya veremos al calcular estos espesores que el perfil que deben tener se acerca á ser un triángulo, cuyo vértice está en el perímetro de la hélice y cuya base corresponde al punto de empotramiento, que es el que debe tener el máximo espesor.

Dimensiones de las roscas.—El diámetro de las roscas, el paso de las hélices y el ángulo que éstas forman con el eje del pilote varían con las clases de terreno que hay que atravesar y las profundidades que se precisan alcanzar.

Claro es que el diámetro aumenta y el paso disminuye para terrenos flojos, llegándose á dar diámetros de 1^m,80 con inclinaciones muy pequeñas. En cambio, cuando los terrenos son duros, el paso de la hélice aumenta y su diámetro se reduce; y también deben adoptarse estas disposiciones cuando las profundidades de hinca tengan que ser grandes, aunque los terrenos

sean muy flojos, pues de no hacerse así la hinca pudiera presentar serios obstáculos, ya por el encuentro de piedras gruesas. ya por la carga ejercida por una gran altura de terreno semifiuido.

El inspector D. Pedro Pérez de la Sala, en su ya citada obra de *Señales marítimas*, señala una viciosa costumbre de calcular la resistencia en las fundaciones sobre pilotes de rosca, teniendo sólo en cuenta la superficie total de ésta, sin preocuparse del grueso de la hélice; olvido que ha ocasionado muchas roturas de hélices, entre otros casos en el puente sobre el río Eo, el año 1861.

Así que conviene, no sólo demostrar que, en efecto, no es indiferente el grueso de las roscas, si que también ver de calcular el espesor de estas hélices en función de las cargas á que estarán sometidas, teniendo en cuenta que estas hélices sufren esfuerzos de flexión, más peligrosos para metales fundidos que cualquier otra clase de esfuerzos.

Cálculo del espesor de las roscas.— La forma empleada para las roscas es la de una superficie, ó mejor dicho, la de un sólido helizoidal engendrado por el giro de una superficie determinada al rededor del eje del cilindro que forma el pilote ó vástago, y que sigue además el contorno de una hélice.

Debiendo este sólido transmitir un esfuerzo determinado al terreno, el medio más sencillo y aproximado para calcular sus dimensiones es el siguiente:

1.º Suponer que la presión se reparta uniformemente en toda la superficie de la rosca. (Esta hipótesis no es enteramente cierta, porque, en virtud de la elasticidad del material, la parte más lejana del vástago experimentara una ligera flexión, quedando en consecuencia sometida á menor presión; pero esta circunstancia favorece á la resistencia de la rosca, de modo que, haciendo el cálculo en semejantes condiciones, el resultado presentará mayores garantías de seguridad.)

2.º Suponer dividido el sólido de la rosca por planos meridianos que formen ángulos infinitamente pequeños, constituyéndole así por un número infinito de partes, que cada una de por sí tenga suficiente resistencia para sostener la parte de peso ó presión que le corresponda. Es claro que, si cada una resiste, el conjunto resistirá todavía en mejores condiciones, máxime

cuando, como es sabido, existen líneas de rotura, ó sea donde los esfuerzos son mayores, y que por consiguiente unas prestarán auxilio á otras.

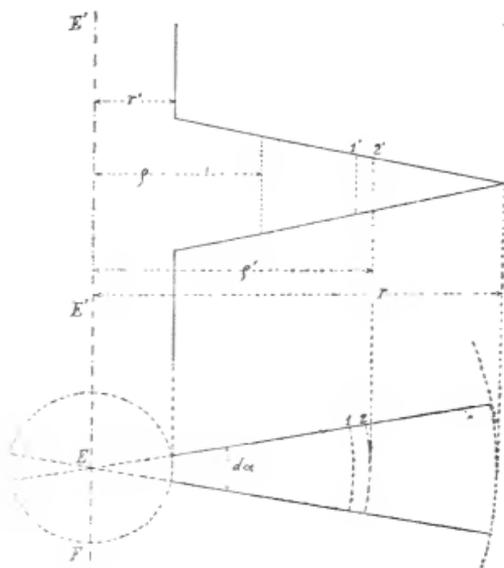


Fig. 20.

Sean: r y r' , los radios extremos de la rosca;

ρ , un radio cualquiera;

e , el espesor del huso para que resista á la presión;

p , la presión por unidad de superficie;

T , el coeficiente de resistencia del metal á la flexión ó esfuerzo cortante;

$d\alpha$, el ángulo infinitamente pequeño que forman los dos planos meridianos del huso.

Este huso está empotrado por la extremidad que tiene común con el pilote.

Sea, finalmente, ρ' otro radio; tendremos que la presión en un elemento [1, 2] infinitamente pequeño de un ancho $d\rho'$, será

$$p\rho' d\alpha d\rho'.$$

Su momento, con relación á un punto situado á una distancia ρ , será

$$p\rho' dx d\rho' (\rho - \rho').$$

La suma de todos estos momentos será

$$\int_{\rho}^r p\rho' dx (\rho - \rho') d\rho' = X.$$

Integrando en función de ρ' y entre los límites ρ y r , obtenemos:

$$pdx \left(\frac{r^3 - \rho^3}{3} - \frac{\rho(r^2 - \rho^2)}{2} \right) = pdx \left(\frac{r^3}{3} + \frac{\rho^3}{6} - \frac{\rho r^2}{2} \right) = X. \quad [1]$$

El momento que designamos por X está ligado con el coeficiente T , el momento de inercia y el espesor del huso por la conocida relación del momento resistente:

$$X = \frac{2TI}{e}. \quad [2]$$

Siendo el elemento que consideramos un rectángulo que tiene e por altura y ρdx por base, su momento de inercia será

$$I = \frac{e^3 \rho dx}{12}. \quad [3]$$

Eliminando X é I entre las ecuaciones [1], [2] y [3], sustituyendo en la [1] y [2] por sus valores y efectuando las operaciones algebraicas, se obtiene en definitiva la fórmula

$$e = \sqrt{\frac{p}{T\rho} (2r^3 + \rho^3 - 3\rho r^2)}, \quad [A]$$

que nos da el espesor de la rosca en un punto cualquiera situado á una distancia ρ del eje del pilote en función de T y p , que son elementos conocidos del problema.

Aplicación del cálculo á las roscas del puente de Rivadesella.
—Para mayor claridad y evidenciar cuán fácil y rápida es la aplicación de esta fórmula, expondremos el cálculo que hemos hecho para las roscas de los pilotes del puente de Rivadesella.

Según se desprende de los cálculos de los tramos del puente, y que no son de este lugar, la carga máxima de pruebas correspondiente á un pilote (en la palizada-pila) es de 12.088 kilogra-

mos, que se reparte en el círculo de la rosca de radio $r = 0^m,40$, es decir, en una superficie de

$$\delta = \pi r^2 = 0,502656,$$

ó próximamente medio metro cuadrado.

La presión superficial p por metro cuadrado será, pues, para el caso que nos ocupa, de 24.176 kilogramos, que supondremos de 25.000 en números redondos, para tener en cuenta algunas de las desigualdades que pueden producirse en la repartición de la carga entre los diferentes pilotes.

En primer lugar, vemos que la presión máxima sobre el terreno es sólo de 2,50 kilogramos por centímetro cuadrado, muy inferior á la carga que puede resistir impunemente un suelo de arena, al que, como es sabido, se suelen aplicar coeficientes de 4 y hasta de 6 kilogramos por centímetro cuadrado.

El coeficiente T de trabajo á la flexión ó esfuerzo cortante á que puede someterse el metal varía según que la rosca se construya de fundición ó de acero fundido. Podemos adoptar:

$$T = 4.000.000 \text{ (fundición),}$$

$$T' = 7.500.000 \text{ (acero fundido),}$$

coeficientes admitidos por la práctica para la clase de trabajo á que ha de estar sometido el material.

Aplicando estos valores de T en la fórmula [A], sólo nos resta dar valores á ρ .

El dato más importante es el espesor en el arranque ó punto de empotramiento de la rosca, para el cual $\rho = 0^m,125$, y obtenemos entonces, haciendo las operaciones aritméticas,

$$\text{para } T = 4.000.000, p = 25.000, \rho = 0^m,125,$$

$$e = \sqrt{0,0034} = 0^m,058;$$

$$\text{para } T = 7.500.000, p = 25.000, \rho = 0^m,125,$$

$$e' = \sqrt{0,001865} = 0^m,043;$$

es decir, que el espesor máximo de la rosca ha de ser de 58 milímetros cuando se ejecute de fundición y de 43 cuando se emplee el acero.

Dando á ρ los valores comprendidos entre $0^m,125$ y $0^m,400$, se obtienen los espesores de la rosca en todos sus puntos, con los cuales se puede dibujar un perfil teórico, simétrico á una línea horizontal.

Así lo hemos hecho en la figura siguiente, en que la línea *ac* llena representa el perfil teórico de la rosca cuando ésta se hace de acero y la línea *bc* de trazo y punto el perfil teórico para una rosca de fundición.

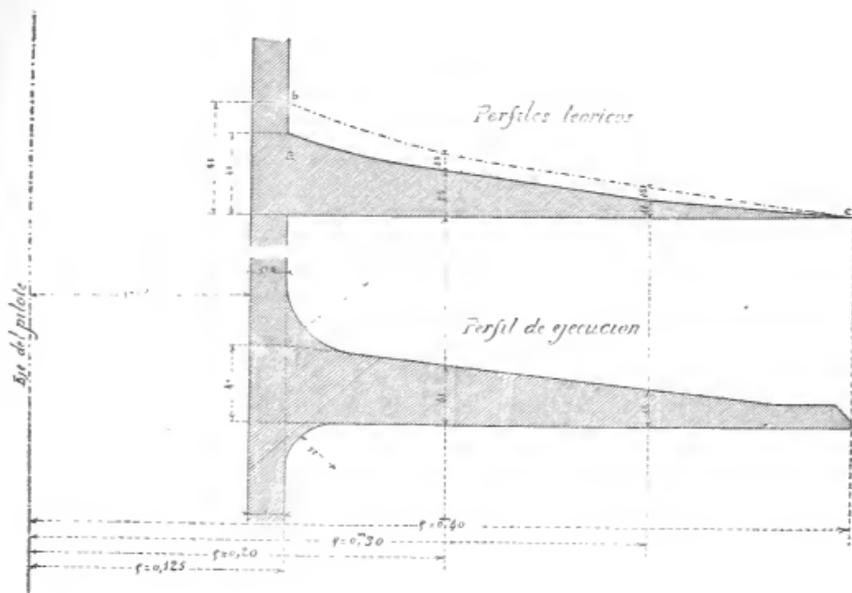


Fig. 30.

Debajo de esta misma figura hemos representado, en la misma escala, el perfil adoptado para la ejecución en acero, que como se ve es un poco más robusto que el teórico.

En el cuadro siguiente comparamos los espesores en los tres casos representados por las figuras:

$e = \sqrt{\frac{p}{T\rho} (2r^3 + \rho^3 - 3\rho r^2)}$ $p = 25,000 \text{ k.}; r = 0^m,40.$	PERFILES TEÓRICOS		PERFIL DE EJECUCIÓN
	Fundición. T = 4.000.000.	Acero. T = 7.500.000.	Acero. T = 7.500.000.
$\rho = 0^m,125$ (arranque de la hélice).	0^m,058	0^m,043	0^m,100
$\rho = 0^m,200$	0^m,033	0^m,025	0^m,031
$\rho = 0^m,300$	0^m,015	0^m,011	0^m,018
$\rho = 0^m,400 = r$ (extremo de la hélice).	0^m,000	0^m,000	0^m,010

Rotura de las roscas del puente de Porto.—Ya hemos descrito en el capítulo IV la palizada que se había proyectado para el puente de Porto sobre el río Eo, y ya dijimos entonces el accidente ocurrido al efectuar las pruebas de resistencia de dicha palizada, sobre el que conviene dar más detalles para evitar análogas contingencias.

Como en aquella época (año 1861) no estaba aún bien estudiada la resistencia de los pilotes de rosca, y como por otra parte el lecho del río Eo, en que se había establecido la palizada, estaba constituido por una capa de espesor indefinido de finísimo lé-gamo, el ingeniero de aquella obra, con gran acierto, creyó prudente probar la resistencia de la palizada y de los pilotes, cargándola antes de lanzar los tramos de hierro con una sobrecarga equivalente a la que tendría que soportar en el momento de las pruebas máximas.

Así se hizo, y el resultado de las minuciosas nivelaciones practicadas se detalla á continuación:

Se había empezado á cargar la palizada con 1.800 quintales (90 toneladas) el día 16 de julio de 1861, produciéndose un asiento de 2 milímetros.

El día 18 se cargó con 2.300 quintales (115 toneladas), bajando 0^m,018.

El día 19 se cargó con 2.300 quintales (115 toneladas), bajando 0^m,012.

Los días 20 y 21 se cargó con 4.000 quintales (200 toneladas), bajando 0^m,075.

El día 22 se cargó con 5.100 quintales (255 toneladas), bajando 0^m,021.

El día 23 se cargó con 5.800 quintales (290 toneladas), bajando $0^m,054$.

Pero este último día, y repentinamente, se produjo un descenso de $5^m,726$ de toda la palizada, que por lo tanto resultó con un asiento total de $5^m,941$, y que demostró había ocurrido

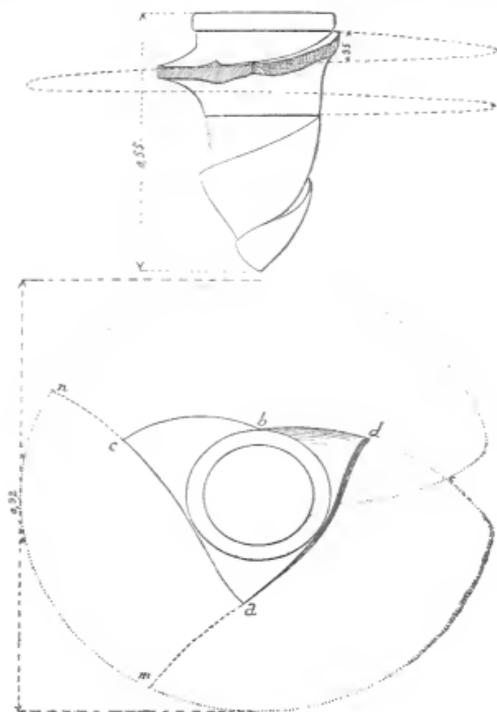


Fig. 31.

la súbita rotura de las roscas, pues no de otra manera podía explicarse tan considerable hundimiento.

Después de muchos trabajos lograron extraer todos los pilotes, encontrándose todos ellos sin sus roscas y en la forma que se representa en la figura adjunta, operaciones que presenciaron el ingeniero Sr. Sagasta y los alumnos en prácticas que con él visitaban las obras de la provincia.

Basta aplicar la fórmula [A], que antes hemos deducido, para demostrar cumplidamente el defecto de las roscas.

Siendo éstas de fundición, adoptamos $T = 4.000.000$. Siendo el diámetro de las roscas de $0^m,92$, la superficie del círculo es de $0^m,6647$.

Habiéndose roto los pilotes bajo una carga de 290 toneladas, suponiendo que ésta se hubiera repartido uniformemente entre los 11 pilotes de la palizada (lo que no es enteramente exacto, pues los pilotes de tajamares no debieron sufrir la misma carga), la presión sobre cada pilote fué de 26.363 kilogramos, lo que representa una carga por metro cuadrado $p = 39.700$ kilogramos.

Calculemos con estos datos el espesor que hubiera debido tener la rosca en su arranque. es decir, para $\rho = 0^m,12$, y tendremos, sustituyendo p , ρ , r y T por sus valores,

$$e = \sqrt{\frac{p(2r^3 + \rho^3 - 3\rho r^2)}{Tp}} = \sqrt{0,009282} = 0,096; \quad [A]$$

es decir, que el espesor hubiera debido ser de 96 milímetros, y como la rosca en este punto sólo tenía 55 milímetros de grueso, resulta perfectamente evidenciada la causa ocasional de la rotura de las hélices.

Si no se hubieran roto las hélices, el terreno, á pesar de su fluidez, hubiera seguramente aguantado carga tan extraordinaria, que representa una presión de 3,97 kilogramos por centímetro cuadrado; de lo que podemos deducir que, aun en terrenos fangosos, puede llegarse á cerca de 4 kilogramos de presión por centímetro cuadrado.

Resta sólo explicar la curiosa forma afectada por las hélices rotas. Todas ellas se rompieron en tres pedazos casi iguales al de la figura 31 antes citada, lo que parecía demostrar que las líneas *nea*, *mad* y *cbd* eran tres juntas de rotura.

Determinación de las juntas de rotura de las roscas.—Un ingenioso cálculo, deducido á raíz del suceso por nuestro eminente compañero y académico de Ciencias el inspector D. Eduardo Saavedra (1), demuestra que, en efecto, las roscas tienen tres líneas de rotura que dividen al disco helizoidal en tres sectores iguales.

(1) Este cálculo se publicó en el número de la *Revista de Obras públicas* del año 1868, pág. 28.

Para exponer con mayor sencillez el cálculo que vamos á hacer, supondremos reducido el árbol ó vástago del pilote á su eje y el helizoide que forma la rosca á un disco plano circular abierto por un radio.

Fácil es comprender que los resultados no se alteran sensiblemente con estas suposiciones.

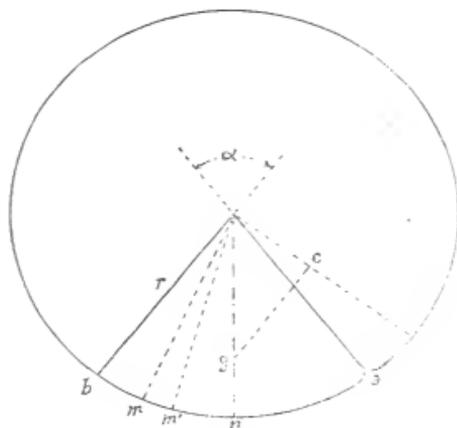


Fig. 32.

Sea Oa la abertura de la rosca y $Ob = r$ un radio cualquiera, que forma con el primero un ángulo α : se trata de saber cuál es el valor del ángulo α que da la posición del radio en que la rotura es más inminente.

Llamando p á la presión por unidad superficial que ejercen las tierras sobre el disco en un elemento angular $mOm' = d\alpha$ de radio r , la presión efectiva será $p \times \frac{1}{2} r^2 d\alpha$ y la total en el ángulo $aOb = \alpha$ valdrá

$$P = \frac{1}{2} p r^2 \alpha.$$

El punto de aplicación de esa presión resultante estará en el centro de gravedad g del sector aOb , cuya distancia r' al centro del círculo es

$$r' = \frac{2}{3} r \frac{\text{cuerda } ab}{\text{arco } ab} = \frac{4}{3} r \frac{\text{sen } \frac{1}{2} \alpha}{\alpha},$$

contada en la bisectriz On del ángulo α .

Esta fuerza, además de hacer trasladar al sector aOb perpendicularmente á su plano, tiende á hacerle girar: 1.º, al rededor de un eje Od que pasa por el centro, supuesto fijo y perpendicular á Ob , desgarrando la hoja que forma el disco; 2.º, doblando esa misma hoja al rededor del radio Ob .

El momento de la presión total respecto al primer eje de giro es

$$M = P \times gc;$$

y como

$$gc = Og \times \cos Ogc = r' \cos \frac{1}{2} \alpha$$

$$\text{sen } \alpha = 2 \text{ sen } \frac{1}{2} \alpha \cos \frac{1}{2} \alpha.$$

resulta

$$M = \frac{1}{3} pr^3 \text{ sen } \alpha.$$

Respecto del eje Ob , el momento es

$$N = P \times Oc;$$

y como

$$Oc = Og \text{ sen } Ogc = r' \text{ sen } \frac{1}{2} \alpha,$$

resulta

$$N = \frac{2}{3} pr^3 \text{ sen}^2 \frac{1}{2} \alpha.$$

Llamando e al espesor del disco, que supondremos constante, el área de la sección vertical dada por Ob será igual á $e \times r$, y la tendencia que la presión P tiene á separar el sector aOb del resto del disco en sentido perpendicular á su plano originará una tensión transversal á su superficie como un esfuerzo cortante, igual por unidad de área á

$$\frac{P}{er} = \frac{1}{2} \frac{pr}{e}.$$

El momento de inercia polar de la misma sección, respecto del punto O , es $\frac{1}{3} er^3$; el esfuerzo cortante por unidad superficial que produce el momento M en un punto cuya distancia al centro es x , equivale á

$$\frac{Mx}{\frac{1}{3} er^3},$$

y para el punto b , en que es el mayor posible,

$$\frac{3M}{er^2} = \frac{pr \text{ sen } \alpha}{e}.$$

El esfuerzo cortante total producido en el punto b por las dos causas reunidas es

$$\frac{pr}{e} \left(\frac{1}{2} \alpha + \operatorname{sen} \alpha \right),$$

y su valor máximo se verifica cuando

$$\cos \alpha = \frac{1}{2}$$

ó sea

$$\alpha = 120^\circ,$$

de modo que el disco se partirá en tres sectores iguales.

Al giro al rededor de Ob no conspira más que el momento N , cuyo máximo se verifica para $\operatorname{sen} \frac{1}{2} \alpha = 1$, ó sea $\alpha = 180^\circ$, de modo que el disco no se partiría sino en dos pedazos. Es, pues, más desfavorable la primera suposición, que por otra parte ha sido por completo confirmada en la rotura de las once roscas del puente de Porto.



CAPÍTULO XI

ESTUDIO COMPARATIVO Y CÁLCULO DE LOS PILOTES METÁLICOS

Elección del sistema de pilotes según la clase de terreno.—Material que es preferible.—Longitudes de los pilotes.—Diámetros de los pilotes-tubos de fundición.—Espesores de las columnas de fundición.—Empalmes de los pilotes-tubos de fundición.— Diámetros de los pilotes de hierro dulce.—Empalmes de los pilotes de hierro dulce.—Capiteles de los pilotes.—Cálculo de las dimensiones de los pilotes.—Resistencia de los pilotes á la compresión.—Cálculo de los pilotes macizos.—Cálculo de los pilotes-tubos.—Cálculo de los pilotes del puente de Rivadesella.—Resistencia de los pilotes á la torsión.—Ventajas de los pilotes de hélice sistema Pozzi.

Elección del sistema de pilotes según la clase de terreno.— Los pilotes de rosca se han hincado en la mayor parte de los terrenos; en arenas más ó menos fangosas penetran con suma facilidad, y se pueden alcanzar profundidades extraordinarias, que llegan á 15 y 20 metros algunas veces.

Penetran bien en terrenos de aluvión, en arcillas y en esquistos.

En los terrenos de aluvión hay que exceptuar, sin embargo, aquellos formados por gruesos cantos; cuando son pequeños, son arrastrados ó separados por el movimiento de la hélice; si sólo se encontrara alguna que otra piedra gruesa, ó ésta se separa empujada por el pilote, ó en el caso en que éste quede completamente detenido ó muy desviado de su dirección, es preciso arrancarlo y perforar la piedra, como se hizo en el puente de Vouneuil-sur-Vienne, según veremos más adelante.

Se han hincado pilotes de rosca en arcillas azules compactas y en pizarras muy duras; pero se han encontrado á veces serias dificultades para la hinca en esta clase de terrenos, pues se adhiere la arcilla al rededor de la hélice y se forma pronto una especie de tambor que gira dentro de su cavidad sin descender.

También penetran los pilotes de rosca en las rocas madreporicas, tan frecuentes en los mares oceánicos y en algunas costas de Europa y América. En el faro de Sand-Key, en el golfo de Florida, el ingeniero Lewis los introdujo hasta 3^m,66 en un banco de coral.

Vemos, pues, que para terrenos fangosos, arenosos, de guijo menudo, arcillas, pizarras y hasta rocas madreporicas se puede emplear el pilote de rosca, dando á ésta las dimensiones y paso convenientes, según hemos visto en el capítulo anterior.

Cuando el terreno de aluvión contiene cantos demasiado gruesos y muy numerosos, parece preferible el empleo de los pilotes de hélice sistema Pozzi, hincados por percusión.

Por último, cuando la roca dura se encuentra á pequeña profundidad, hay que recurrir á los tipos de pilotes de patín descritos en el § 7 del capítulo IX, empotrándolos en una caja previamente abierta, debiéndose emplear este mismo sistema para rocas blandas, pero no socavables, en las que no puede hacerse penetrar los pilotes de rosca ó de hélice.

En resumen, los pilotes metálicos pueden emplearse en la mayor parte de los terrenos que se presentan en la práctica, merced á la gran variedad de sistemas y dimensiones que pueden adoptarse.

Material que es preferible. — El gran número de ejemplos que hemos presentado de pilotes de hierro dulce macizos y de tubos de fundición evidencia cuán difícil es la elección entre estos dos materiales, dependiendo ésta casi siempre de una *simpatía*, por decirlo así, hacia el hierro ó la fundición.

Sin embargo, podemos exponer algunas ventajas é inconvenientes de ambos materiales.

A igualdad de sección, y de peso por lo tanto, los pilotes-tubos de fundición tienen dos ventajas:

1.ª Son más resistentes, pues que es sabido que la forma tubular favorece mucho la resistencia á la compresión.

2.ª Producen una economía de un 30 á 40 por 100 aproximadamente.

En cambio hay que convenir que, siendo la fundición más quebradiza, no debe emplearse este material en aquellas palizadas expuestas á los choques de barcos ó de cuerpos flotantes que pudieran romperlos, arrastrando la ruina de la obra.

Asíes que, en resumen, puede decirse que la fundición es conveniente para aquellas partes del pilote que han de quedar enterradas ó fuera del alcance de los choques, y por esta razón, en el puente de Rivadesella, los hemos proyectado de este material, no pasando estos tubos del nivel de las bajamares.

Cuando la longitud de los tubos es muy grande, como, por ejemplo, en el muelle de Valparaíso, en que llegaba á 32 metros, conviene emplear el hierro laminado, formando los tubos con hierros *zorés*. Esta disposición también se emplea en los puentes sistema Thomas y Foucart (cap. VI).

Longitudes de los pilotes.—Acabamos de ver las extraordinarias longitudes que alcanzan algunas veces los pilotes, siendo preciso subdividirlos en trozos de fácil manejo y transporte.

En algunas obras se sabe de antemano las profundidades que han de alcanzar, permitiendo esta circunstancia dividir los pilotes, ya sean de fundición, ya de hierro dulce, en trozos de longitudes determinadas; pero en otras muchas construcciones hay que cortar los pilotes á alturas variables, debiéndose entonces proyectar los capiteles independientes.

Las longitudes que se dan á los trozos de pilotes varían, pero no debieran pasar de 4 á 5 metros.

En el puente de Rivadesella, siendo de 6^m,50, 5^m,50 y 4^m,50 las longitudes que han de tener los pilotes, se han fundido dos tipos de tubos con longitudes de 3^m,25 y 2^m,25, que permiten todas las combinaciones probables de longitudes, pues

$$6^m,50 = 2 \times 3,25$$

$$5^m,50 = 3,25 + 2,25$$

$$4^m,50 = 2 \times 2,25.$$

Para el puente de Azambuja, los trozos de tubo tenían todos longitudes iguales á 2^m,948.

En los puentes de Zumaya tenían 5^m,55 de longitud; los del puente de Vouneuil-sur-Vienne, 3^m,20 de longitud; 2^m,50 los del puente de Saigón.

Diámetro de los pilotes-tubos de fundición (láms. XVI y XVII).—Aunque en los puentes de Saigón y Santarem los tubos se han fundido con alguna conicidad, aumentando el diámetro en la parte inferior, no se suele adoptar esta disposición, que si bien

es racional, complica el moldeo y montaje, construyéndose generalmente los tubos completamente cilíndricos.

Ya hemos visto en el capítulo IX, § 6 y § 7, que los diámetros varían entre 0^m,25 y 0^m,80; pero salvo los casos excepcionales de los puentes de Taptee, Kœnisberg, etc., que se han de imitar poco, parece que una dimensión bastante práctica y conveniente es la de 0^m,25, adoptada en los puentes del río de las Piedras y de Rivadesella.

Espesores de las columnas de fundición.—Aunque las cargas sean pequeñas, no se puede reducir el espesor de las columnas de fundición más allá de ciertos límites.

La práctica ha sancionado ciertas proporciones, que pueden resumirse en el cuadro siguiente (1):

Altura de las columnas l , en metros.	2 á 3	3 á 4	4 á 6	6 á 8	8 á 10
Espesor mínimo, e , en milímetros.	10 á 12	12 á 15	15 á 20	20 á 25	25 á 30

Empalmes de los pilotes-tubos de fundición.—Son casi tan variados como el número de obras en que se han empleado.

Las fábricas del Creusot y de Valentin y el ingeniero Oppermann han empleado el sistema de enchufe con algunas diferencias de detalle que se aprecian suficientemente con el examen de las figuras, quedando los extremos de los tubos sujetos por dos ó más pernos transversales.

El ingeniero italiano Pozzi empalma sus trozos también por enchufes (véase cap. IX, § 8), pero adoptando ciertas precauciones para que la compresión sea enérgica y el apoyo perfecto.

En nuestra opinión, como los pilotes tienen que resistir durante la hincia un considerable esfuerzo de torsión, consideramos más seguro el empalme de brida con tornillos que se ha aplicado en otros puentes y que hemos proyectado en Rivadesella, pues si bien esta brida saliente dificulta algo la hincia, se puede aminorar esta resistencia con la disposición que hemos dado á aquel pilote.

(1) *Manual del Constructor*, por Soroa y Castro, pág. 94.

En los puentes de Zumaya se han empalmado los tubos con bridas de hierro dulce angulares, roblonadas á los extremos; pero esta disposición, si bien es segura, resulta algo complicada á nuestro juicio.

Por último, en los pilotes del puente de Amberes (lám. XVII, figura 2) se han empalmado los tubos torneando en rosca los dos extremos. Este sistema es, en verdad, preferible aun al empalme por medio de bridas y tornillos, porque así la columna presenta una superficie completamente lisa, y por lo tanto opone menos resistencia á la penetración; pero ofrece también sus inconvenientes, pues además de ser costosa por el aumento de mano de obra que lleva consigo el torneado de las roscas, en el caso en que por rotura de las hélices sea preciso extraer el pilote, haciéndolo girar en sentido inverso, se desprenderían fácilmente los trozos de tubo. Para evitarlo, se refuerza la unión con una pieza de hierro que atravesase los dos extremos de cada empalme; pero aun así ha ocurrido que se rompiera esta pieza, con lo que se hace muy difícil, por no decir imposible, la extracción del tubo roto.

Diámetro de los pilotes de hierro dulce.—Al principio casi todos los pilotes de hierro dulce y alma llena tenían 0^m,125 de diámetro (5 pulgadas inglesas), pero hoy día se han construido pilotes que llegan á 0^m,300 de diámetro (1).

Las dimensiones más frecuentes oscilan entre 0^m,100 y 0^m,150, y se suele dar el mismo diámetro á todos los pilotes de una obra para facilitar la ejecución, aunque las alturas de los pilotes varíen.

Sin embargo, en algunos puentes se adoptaron diámetros proporcionados á sus longitudes. Así, en el puente de Lewes se le dió:

0 ^m ,144	de diámetro	para los pilotes de 9 metros de longitud.		
0 ,155	—	—	10 ^m ,20	—
0 ,210	—	—	16 ,50	—

Empalmes de los pilotes de hierro dulce.—Aunque en los muelles de Delaware y en el puente de Lewes se han hincado pilotes de una sola pieza, que llegaban á tener 5.000 kilogramos y 16^m,50 de longitud, no es lo corriente, tanto más cuanto que es

(1) Puente de Garibaldi, en Verona (véase cap. IV).

difícil precisar de antemano la longitud que han de tener estos pilotes, y conviene por lo tanto prever el caso en que haya que empalmar dos trozos de pilote.

Estos empalmes se efectúan perfectamente por medio de dos manguitos, de hierro fundido generalmente, que llevan un borde saliente cada uno, que se unen con pernos ó tornillos.

Sin embargo, el accidente del primer puente de Verona ⁽¹⁾, que se atribuye á la rotura de estos manguitos de fundición, aconsejó la ejecución de los del puente nuevo de acero fundido, y así se ha hecho también con buen éxito en otras muchas obras que hemos citado.

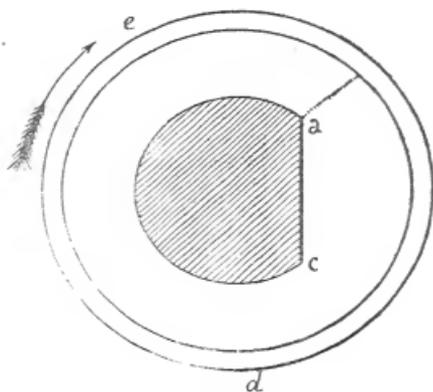


Fig. 33.

Estos manguitos deben sujetar fuertemente los dos extremos de los pilotes, á cuyo efecto se une el conjunto con dos pernos en cruz.

Para aumentar esta sujeción se suele también chafanar los extremos de los pilotes, de modo que tengan una sección mixtilínea; pero ha ocurrido que al imprimir á los pilotes la rotación para la hinca, se hayan roto los manguitos por la línea *ab* (figura 33), en cuyo punto evidentemente se acumula el esfuerzo de torsión ⁽²⁾.

⁽¹⁾ Descrito en el capítulo IV.

⁽²⁾ Semejante accidente ha ocurrido en algunos cubos de fundición de los pilotes de rosca del muelle de Vigo, que se empalmaban con los pilotes de igual manera.

También pueden empalmarse á tornillo, como en el pilote del faro de Walde (lám. XV. fig. 6); pero este sistema de unión, si bien el más sólido, es caro y ofrece los inconvenientes que enumeramos anteriormente, al ocuparnos de los empalmes de los tubos de fundición.

La unión entre el vástago de hierro dulce ó pilote propiamente dicho y las roscas de fundición ó de hierro puede hacerse de dos modos: ó bien como en las figuras 17, 18 y 22, lámina XIV, se tornea la extremidad del vástago en forma de tornillo para formar la punta del pilote, entrando todo él en el disco helicoidal, en el que debe quedar un hueco central, ó bien, y es lo más frecuente, como en los demás modelos presentados, la rosca está fundida con su cubo que lleva la punta del pilote, y el extremo del vástago se introduce en una mortaja cilíndrica, prismática ó mixtilínea abierta en el cubo, sujetándose el conjunto con uno ó dos pernos ó clavijas, análogamente á los empalmes entre dos brazos de pilote, por medio de manguitos.

Capiteles de los pilotes.—Cuando se conoce de antemano la profundidad de la hincia de los pilotes de fundición, y por ende su longitud exacta, se puede fundir el capitel con el trozo superior del pilote, como se hace en los puentes de Saigón, Santarem y Rivadesella (lám. XVI, figs. 1, 2 y 8). En cambio, si se supone que la longitud de los pilotes ha de ser variable, hay que fundir el capitel separadamente, uniéndole después al extremo superior del pilote (recortado á la altura precisa) con pernos ó tornillos. Cuando los pilotes son de hierro dulce, los capiteles, ejecutándose de fundición, ó mejor aún de acero fundido, siempre son independientes y se unen al extremo del pilote.

Se adoptan entonces formas variadas, según la disposición de las vigas, como se ve en la lámina XV.

Cálculo de las dimensiones de los pilotes.—Distribuida la longitud del puente en el número de tramos conveniente, y proyectados y cubicados éstos, se obtiene la carga máxima que ha de corresponder á cada palizada en el momento de las pruebas.

Según la disposición que se adopte para estas palizadas, se deduce la compresión máxima á que han de estar sometidos cada uno de los pilotes, procediéndose entonces á determinar el diámetro de éstos.

Desde luego se puede deducir aproximadamente, por comparación con los que se han adoptado en los numerosos ejemplos que presentamos; pero para mayor seguridad débese comprobar siempre si las dimensiones adoptadas son suficientes para resistir impunemente: 1.º, á la carga de compresión máxima; 2.º, al esfuerzo de torsión que se calcule necesario para su hincá, y que dependerá del mayor ó menor grado de dureza de los terrenos que deban perforarse.

Resistencia de los pilotes á la compresión.—Aunque en la mayor parte de los casos los pilotes tienen una gran parte de su longitud enterrada en el subsuelo, conviene para mayor seguridad prescindir de este parcial empotramiento y considerarlos, para el cálculo de su resistencia á la compresión, como piezas no empotradas y comprimidas por sus extremos.

Aunque se ha estudiado teórica y prácticamente, este problema no se resuelve con gran exactitud. Verdad es que las famosas experiencias de Hodgkinson han permitido deducir fórmulas empíricas, y que en todos los tratados de mecánica aplicada, y en los numerosos formularios de ingenieros y constructores, se presentan fórmulas y tablas que permiten calcular las dimensiones de las piezas sujetas á compresión; pero no es menos cierto que los resultados obtenidos con estas fórmulas son casi siempre muy diferentes, lo que permite poner en duda su exactitud.

Sin embargo, como se adoptan coeficientes de seguridad bastante elevados, y como por otra parte conviene más bien pecar por exceso, sobre todo para el cálculo de pilotes metálicos, que han de estar enterrados debajo del agua y expuestos, por lo tanto, á corrosiones del metal, débense siempre aplicar las fórmulas deducidas para garantía de la resistencia, pues su aplicación hasta ahora ha producido resultados que, si no son exactos, por lo menos han dado dimensiones seguras á las columnas ó pilares para los que se han aplicado.

Cálculo de los pilotes macizos.—Las fórmulas de Love, deducidas de las experiencias de Hodgkinson, son las más conocidas (1).

(1) Hemos tomado estas fórmulas del *Manual del Constructor*, por Soria y Castro, que está conforme con el *Aide-Memoire Clavel* y otros formularios, mientras que las que con el mismo nombre estampa Collignon en su *Tratado de Mecánica aplicada*, París, 1877, pág. 232, están equivocadas y no deben emplearse para la fundición.

Sean l y d la longitud y el diámetro de los pilotes en centímetros; F_0 la carga de fractura ó rotura en kilogramos, en la hipótesis que el coeficiente de rotura sea 75 kilogramos por milímetro cuadrado. Las fórmulas de Love para columnas macizas de fundición y de hierro son:

$$\text{Fundición,} \quad F_0 = \frac{7500 d^4}{1,85 d^2 + 0,0043 l^2}; \quad [1]$$

$$\text{Hierro,} \quad F_0 = \frac{3600 d^4}{1,97 d^2 + 0,00064 l^2}. \quad [2]$$

Para determinar las cargas prácticas ó permanentes que puedan impunemente soportar las columnas, se toma la $\frac{1}{6}$, la $\frac{1}{8}$ ó la $\frac{1}{10}$ parte de las cargas de rotura F_0 obtenidas, según el coeficiente de seguridad que se quiera adoptar.

Generalmente se toma $F = \frac{1}{6} F_0$, y con este coeficiente se han calculado numerosas tablas que dan inmediatamente los valores de F en función del diámetro y longitud de las piezas sometidas á compresión.

Las fórmulas más recientes de Planat dan los valores de la carga permanente de seguridad, tomada como un $\frac{1}{7}$ de la de rotura, que puede soportar una pieza y está expresada en toneladas, y d y l que representan el diámetro y la longitud en metros.

Para el caso de columnas macizas de secciones circulares:

$$\text{Con los dos extremos empotrados, } F = \frac{2805 d^4}{d^2 + 0,000506 l^2}; \quad [3]$$

$$\text{Sin empotramiento, } F = \frac{2805 d^4}{d^2 + 0,002024 l^2}. \quad [4]$$

Cálculo de los pilotes-tubos.—Cuando las columnas son huecas, se aplican las fórmulas [1] y [2] de Love, considerando que la resistencia del tubo es igual á la diferencia de la de dos columnas macizas de diámetro d' y d , iguales á los diámetros interior y exterior respectivamente y en centímetros.

Tendremos, pues, por ejemplo, para tubos de fundición, que es el caso más común:

$$F_0 = \frac{7500 d^4}{1,85 d^2 + 0,0043 l^2} - \frac{7500 d'^4}{1,85 d'^2 + 0,0043 l^2}. \quad [5]$$

También Planat ha calculado fórmulas para este caso, que son, suponiendo que no están empotrados los tubos:

$$F = \frac{4039 d^3}{120 d^2 + 0,8096 l^2}, \quad [6]$$

en que F es la carga permanente en kilogramos, d el diámetro en centímetros y l la longitud en metros.

Cuando las columnas son de hierro laminado (hierros zorés) ó vigas tubulares, las fórmulas de Planat son:

$$\text{Con los dos extremos empotrados, } F = \frac{357 \omega}{1 + 0,00022 r^2}; \quad [7]$$

$$\text{Sin empotramiento, } F = \frac{357 \omega}{1 + 0,00088 r^2}. \quad [8]$$

Tomando F en kilogramos, ω sección transversal de la columna en cm^2 y $r = \frac{\text{longitud}}{\text{menor dimensión transversal}}$

Además de estas fórmulas, que pueden aplicarse aunque sólo sea para obtener un término medio entre sus resultados, se han calculado numerosas tablas en el Manual que acaba de publicar la casa editorial de Bailly-Baillièrè é hijos (1).

Con ellas se obtienen inmediatamente y sin tanteos las dimensiones de los pilotes huecos ó macizos y otros datos interesantes, siendo preferible el empleo de estas tablas que el calcular las dimensiones por fórmulas nuevas y teóricas, que como las de Planat, Rankine, Bourdais y otros autores no deben merecer una confianza absoluta, mientras que las de Love y las tablas con ellas calculadas se han deducido, como es sabido, de las repetidas y notables experiencias de Hodgkinson.

Cálculo de los pilotes del puente de Rivadesella.—Como hemos dicho (2), son huecos, de fundición, y tienen $d = 25 \text{ cm}$, $d' = 20 \text{ cm}$.

La carga máxima que corresponde á estos pilotes en las palizadas-pilas es de 12.088 kilogramos.

La longitud mayor que podrán tener es de 6 m,50; supongámosla de 7 metros y apliquemos la fórmula [5] de Love.

(1) *Manual del Constructor*, por Soroa y Castro.

(2) Lámina XVI, figura 8.

Se obtiene:

$F_0 = 476.283$ kilogramos (carga de rotura);
admitiendo un coeficiente de seguridad igual á 10, podrán,
pues, los pilotes del puente de Rivadesella resistir impunemente
una carga de

$$F = \frac{1}{10} F_0 = 47.628 \text{ kilogramos,}$$

que es cerca de cuatro veces mayor que la que han de soportar.

El resultado es menor con la fórmula de Planat para columnas
huecas sin empotramiento, y que es:

$$F = \frac{4039 ed^3}{120 d^2 + 0,8096 l^2};$$

siendo $e = 25^m$ y $l = 7$ la longitud en metros, tenemos:

$$F = 21.033 \text{ kilogramos.}$$

Buscando en la tabla del *Manual del Constructor* (páginas 95,
96 y 97), y que da la carga F en kilogramos que pueden sopor-
tar las columnas para alturas comprendidas entre 1 y 8 metros,
se ve que para

$$d = 250, e = 25, l = 7$$

la carga

$$F = 56.017 \text{ kilogramos.}$$

De cualquier modo que se considere, el tubo del puente de
Rivadesella resiste sobradamente á la compresión producida por
la carga máxima que ha de soportar.

Resistencia de los pilotes á la torsión. - La fórmula más prác-
tica y aplicada en los talleres de construcción de máquinas es

$$d^3 - d'^3 = K \frac{A}{n} \quad (1) \quad [1]$$

en la que:

K , es un coeficiente que depende de la naturaleza del metal;
 d y d' , diámetros exterior é interior de la pieza en centímetros;

(1) *Aide-Memoire* de Claudel, 4.^a edición, pág. 299. En las nuevas ediciones de
Claudel y en otros formularios y tratados de máquinas se encuentran otras fórmulas
muy distintas, pero ninguna nos ha parecido tan sencilla y práctica como la que
proponemos.

A, el trabajo ó el esfuerzo transmitido en un minuto y en kilogrametros;

n, el número de vueltas que da la pieza en un minuto.

Claro es que para los pilotes macizos $d' = 0$, y la fórmula queda reducida á

$$d^3 = K \frac{A}{n}. \quad [2]$$

Según las últimas observaciones de Buchanan y de Walter, puede considerarse que $K = 1,60$ para la fundición y $K = 1,00$ para el hierro dulce.

En cuanto á los valores de A, se deducen de los cuadros ó tablas que tienen los tratados de máquinas, según la clase de motor que se aplique al cabrestante.

Para mayor claridad aplicaremos esta fórmula á los pilotes del puente de Rivadesella, y determinaremos el esfuerzo de torsión á que puede someterse sin peligro, suponiendo conocidos los diámetros del pilote, que son:

$$d = 25 \text{ cm}, \quad d' = 20 \text{ cm}.$$

Tendremos, pues,

$$d^3 - d'^3 = 14.825 = K \frac{A}{n} = 1,60 \frac{A}{n}. \quad [3]$$

Supongamos que la hincia se efectúa por medio de peones que empujan horizontalmente los brazos de un cabrestante, cuyos brazos tengan 2 metros de longitud.

En el cuadro de las cantidades de trabajo medias y diarias producidas por motores animados que trae el *Aide-Memoire* de Claudel vemos que un hombre, empujando horizontalmente de un modo continuo, puede ejercer un esfuerzo de 12 kilogramos, con una velocidad de $0^m,60$ por segundo, produciendo un trabajo de 7,2 kilogrametros por segundo y de 432 kilogrametros por minuto.

Con esa velocidad de $0^m,60$ por segundo, y siendo la circunferencia del extremo del brazo del cabrestante de $2\pi R = 12^m,56$,

el peón tardará $\frac{12,56}{0,60} = 20,93$ segundos en dar una vuelta, y por

lo tanto el número de vueltas n por minuto será

$$n = \frac{60}{20,93} = 2,86.$$

Tendremos, pues, que la ecuación [3] será:

$$14.825 = 1,60 \frac{A}{2,86};$$

de donde

$$A = 27.527 \text{ kilogrametros por minuto.}$$

Desarrollando un hombre un esfuerzo de 432 kilogrametros por minuto, según antes dedujimos de la tabla de Claudel, vemos, pues, que el pilote del puente de Rivadesella podrá resistir

á la torsión ejercida por $\frac{27.527}{432} = 63$ hombres empujando los

brazos de un cabrestante de 2 metros de radio; número de peones que no serán necesarios para efectuar la hínca, según veremos por los ejemplos prácticos que daremos en el capítulo XIV.

El mismo cálculo puede aplicarse para cualquier otra clase de motor, sea animal, sea mecánico.

Así, por ejemplo, si el cabrestante se mueve por medio de caballerías, que, según la citada tabla de Claudel, cuando están enganchadas en una noria desarrollan un esfuerzo de 45 kilogramos con una velocidad de 0^m,90 por segundo, y un trabajo por segundo de 40,5 kilogrametros, es decir, de 2.430 kilogrametros por minuto, tendremos:

Con la velocidad de 0^m,90 por segundo, para el cabrestante de 2 metros de radio,

$$n = \frac{60}{13,95} = 4,30.$$

La ecuación [3] será, pues, en este caso

$$14.825 = 1,60 \frac{A}{4,30};$$

de donde

$$A = 39.904 \text{ kilogrametros por minuto.}$$

El número de caballerías que podrán actuar impunemente en el cabrestante será, pues, de

$$\frac{39.904}{2.430} = 16.$$

Ventajas del pilote de hélice sistema Pozzi. — El nuevo sistema de pilotes de hélice, inventado por el ingeniero italiano Mr. Lauro Pozzi, que hemos descrito en el capítulo IX, § 8, se ha empleado ya con éxito en varias obras de Italia, que hemos citado (capítulo IV), y no cabe dudar que presenta en multitud de casos grandes ventajas sobre los pilotes de rosca ordinarios.

En primer lugar, á igualdad de diámetro de las hélices, resisten cargas mucho mayores, pues además de la resistencia opuesta por el terreno á la penetración de una superficie igual á la proyección de la hélice, hay que añadir la que procede de la adherencia del terreno comprimido por la hincia por percusión.

En otros términos: la resistencia de un pilote de hélice es la suma de las resistencias de un pilote ordinario y de un pilote de rosca.

Si tomamos, por ejemplo, el pilote de 0^m,25 de diámetro con hélice de 0^m,400, representado por la figura 9, lámina XVIII, se puede desde luego cargar á razón de 60 kilogramos por centímetro cuadrado de sección, considerándolo como un pilote ordinario de madera (1); es decir,

$$60 \times \pi \frac{25^2}{4} = 29.437 \text{ kilogramos,}$$

á los que hay que añadir la resistencia opuesta á las hélices, que variará según la clase de terreno y que calcularemos á razón de 4 kilogramos por centímetro cuadrado (suponiendo que se hincia en arena), y será

$$4 \times \pi (\overline{20^2} - \overline{12,5^2}) = 3.061 \text{ kilogramos,}$$

es decir, una resistencia total de 32.498 kilogramos.

Un pilote de rosca de 0^m,40 de diámetro sólo podría cargarse (desde el punto de vista de la resistencia del terreno) con un peso de

$$4 \times \pi \overline{20^2} = 5.024 \text{ kilogramos.}$$

Para resistir á la carga de 32.498 kilogramos sería, pues, necesario que la rosca tuviera un radio de

$$32.498 = 4 \times \pi R^2,$$

(1) *Aide-Memoire* de Clandel, 9.^a edición. pág. 86. París, 1877.

$$R = \sqrt{\frac{32.498}{4\pi}} = 50 \text{ centímetros};$$

es decir, una rosca de un metro de diámetro.

En los pilotes de rosca no puede calcularse más que aproximadamente la resistencia del terreno. En cambio, en los pilotes de hélice esta resistencia está representada por el esfuerzo necesario para su hincia, y puede calcularse en cualquier momento de la hincia por medio de la conocida fórmula

$$P = \frac{hQ^2}{e(Q+q)} + (Q+q),$$

en que h = altura de caída del mazo del martinete,

Q = peso del mazo,

q = peso del pilote,

e = penetración por un golpe de mazo,

y de este modo se puede prolongar la hincia hasta obtener un rechazo equivalente á la resistencia que se desea.

También debe tenerse en cuenta la economía de la hincia cuando se trata de un pequeño número de pilotes. Un martinete cualquiera es fácil de establecer y se maneja con 4 ó 5 hombres, mientras que la hincia de los pilotes de rosca necesita un andamiaje y cabrestante más costosos.

En cuanto á la superioridad económica y otras muchas ventajas que enumera el inventor, Sr. Pozzi, son efectivamente ciertas, comparando los pilotes Pozzi con los de hierro dulce empleados en algunos puentes de Italia; pero no creemos sean apreciables con relación á los pilotes-tubos de fundición, cónicos ó cilíndricos, que hemos descrito.

La superioridad del pilote Pozzi se evidencia sobre todo comparándolo con los pilotes de madera, en su empleo para cimientos de obras de fábrica, aunque también hemos visto que se han empleado con éxito y economía, pilotes sistema Oppermann de fundición, en el puente de Vouneuil-sur-Vienne.

En definitiva, creemos que el pilote Pozzi es tan económico y tan resistente como un buen pilote de rosca, y que presenta grandes ventajas tratándose de obras en que haya que hincar un pequeño número de pilotes, para terrenos sembrados de gruesas piedras ó que tenga alguna capa dura que atravesar.

En cuanto á la objeción que pudiera hacerse del peligro de la rotura ó hendidura de los tubos de hierro fundido por el efecto de los choques del mazo se ha previsto, adoptándose algunas precauciones que se enumeran en el capítulo XIV y que han evitado esta clase de accidentes, según se desprende de los resultados obtenidos en Italia, donde se ha empleado con éxito el pilote Pozzi en varias obras del Estado.

CAPÍTULO XII

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS DISPOSICIONES EMPLEADAS EN LAS PALIZADAS METÁLICAS

1.º Palizadas rectas en un solo plano.—2.º Dobles palizadas rectas.—3.º Pilas de hierro laminado sobre pilotes metálicos.—Pesos y costo de las palizadas de cada sistema.—Ventajas é inconvenientes de cada uno de los sistemas de palizadas.

El examen de los modelos de puentes que presentamos en las siete primeras láminas evidencia la gran variedad que se puede dar á las disposiciones de las palizadas ó pilas metálicas para los puentes de carreteras ó ferrocarriles; y para mayor claridad y poderlas comparar fácilmente, conviene clasificarlas en los tipos más característicos, cuyas ventajas é inconvenientes se pondrán al mismo tiempo de manifiesto.

1.º Palizadas rectas en un solo plano.—Es la disposición empleada en los puentes de Saigón y Santarem (lám. I), en el de Tencarola (lám. II) y en los modelos sistemas Oppermann y Pozzi (lámina IV), constituyéndose entonces estas palizadas con pilotes-tubos de fundición.

La misma disposición, pero con pilotes de hierro dulce en toda su longitud, se ha empleado en los puentes de Verona, en una gran parte de las palizadas del puente de Zevio (lám. II), en otros puentes de Italia y en el modelo sencillo del puente sistema Eiffel, para luces de 15 metros.

En todos los puentes que acabamos de citar, los pilotes se sitúan verticalmente y en el plano de las vigas principales que sostienen los tramos; pero en la lámina III vemos tres ejemplos de puentes para ferrocarriles en que á estos pilotes se les da un pequeño talud, con objeto de aumentar la estabilidad en el sentido transversal.

En todos estos modelos se arriostan los pilotes entre sí con

una ó dos cruces de San Andrés, según la altura que tengan las palizadas. Estas cruces están constituidas unas veces, como en el puente de Saigón, por hierros redondos que se atirantan con tornillos de presión; otras veces con hierros angulares ó en T, que forman un aspa rígida.

Además, suele reforzarse el arriostramiento con tirantes horizontales que enlazan las cabezas y la parte media de los pilotes.

Por último, en el viaducto de Santarem, en el puente sistema Oppermann y en el nuevo puente de Verona, se han añadido agua arriba y agua abajo otros dos pilotes suplementarios en el mismo plano de la palizada, que convenientemente arriostrados por jabalcones y tirantes refuerzan las palizadas, y sirviendo de tajamares impiden el choque de los cuerpos flotantes contra los pilotes que sostienen el tramo.

Con estas disposiciones se obtienen palizadas que corresponden á luces de 10 metros en puentes para ferrocarriles y 15 y 20 metros en puentes para carretera (*); pero para luces mayores es conveniente ya doblar las palizadas, constituyendo esto una nueva disposición.

En cuanto á los puentes de Vigonovo y Strá (lám. II), cuyas disposiciones están comprendidas también en la que acabamos de describir, no deben imitarse sino en casos muy excepcionales. La disposición del tablero es costosa y obliga además á aumentar el número de apoyos. Resulta, por otra parte, defectuoso el sistema de apoyar una construcción metálica, y por ende duradera, sobre pilotes de madera que se pudrirán más ó menos tarde. Por último, en el puente de Strá no era menester construir el costoso basamento de sillería, pues el mismo apoyo se hubiese obtenido empotrando en el suelo de roca los tubos de fundición en la forma que lo han hecho los ingenieros Eiffel, Thomas y Foucart con sus pilotes de plataforma (véase capítulo VI, lám. VI).

2.º Dobles palizadas rectas.—Son modelos de esta clase los puentes de Curtarolo (lám. II) y Albaredo, las palizadas centrales del puente de Zevio, el puente sobre la ría del Burgo (lá-

(*) Sin embargo, en el puente de Garibaldi (Verona), descrito en el capítulo IV, se ha llegado á tramos de 25 metros, apoyados sólo sobre dos pilotes.

mina III), los sistemas Eiffel y Thomas y Foucart (lámina VI); todos ellos tienen sus pilas constituidas por dos palizadas formadas cada una por dos pilotes de hierro dulce, situados dos á dos en el plano de las vigas principales.

En algunos casos, como en los puentes de Curtarolo y Albarredo, se ha añadido un quinto pilote agua arriba, que sirve de tajamar, y en el modelo de Thomas y Foucart (lám. VI) se aumenta aún un sexto pilote agua abajo.

El conjunto se arriostra vertical y horizontalmente con aspás ó cruces de San Andrés, rígidas ó de tensión.

En este mismo grupo debe clasificarse la disposición empleada por la fábrica belga Valentín y compañía, en los dos puentes de Marateca y Azambuja (lám. I). Los pilotes son aquí tubos cilíndricos de hierro fundido, y los pilotes tajamares, que tienen la misma altura que los demás, contribuyen á soportar el peso de los tramos, constituyendo entre sí dos grupos de apoyos, que se enlazan con una viga armada.

3.º Pilas de hierro laminado sobre pilotes metálicos. — En las disposiciones que hemos examinado hasta aquí, los pilotes de fundación se prolongan hasta los tramos y sirven de apoyo á éstos.

Se ha preferido en muchos casos dividir la palizada ó pila en dos partes: la parte inferior ó cimiento, constituida por los pilotes que sólo alcanzan el nivel del terreno ó del estiaje, levántándose sobre este basamento un castillete de hierro laminado, con sus taludes correspondientes, que sirve de pila propiamente dicha.

A este grupo pertenecen los tres puentes de la lámina IV y los puentes sobre los ríos Urola é Irubide, en Zumaya (lámina III), aunque este último tiene toda la palizada en un solo plano.

Obedeciendo á la misma idea, hemos proyectado las palizadas del puente de Rivadesella y las de los puentes de los ferrocarriles y caminos vecinales que se presentan en la lámina VII.

En este último grupo, los pilotes pueden ser de hierro dulce, como en los puentes de la lámina IV, ó de hierro fundido, como en los puentes de Zumaya y Rivadesella. La disposición no varía.

Pesos y costo de las palizadas de cada sistema.—Si en el cuadro anexo núm. 2, en que consignamos los pesos de los puentes para carreteras construídos sobre palizadas y pilotes metálicos (pues con los de ferrocarriles ya hemos dicho que la comparación no puede ser exacta), comparamos los pesos de las palizadas de los diferentes sistemas, podemos deducir el siguiente estado, en el que se ha calculado aproximadamente el costo de cada pila, suponiendo que el hierro laminado (incluso montaje) se pague á 500 pesetas tonelada, el hierro fundido á 320 pesetas y el acero fundido á 800 pesetas (1), precios que pueden considerarse como medios en España y que rigen en la contrata del puente de Rivadesella.

En primer lugar, debemos llamar la atención sobre el muy reducido costo de estas pilas metálicas, pues se ve en el cuadro que el costo total de una palizada de puente para carretera puede variar entre 2.725 y 7.470 pesetas, cantidades muy inferiores á lo que pudiera costar el más elemental sistema de pila por otro procedimiento cualquiera de fundación.

Comparemos ahora los diferentes tipos de puente, desde el punto de vista *económico*.

La palizada más barata es la del puente de Saigón (lám. I); pero esta economía está compensada por el aumento de costo que esta disposición ocasiona en los tramos, según veremos en el capítulo siguiente.

Vienen después las palizadas de los puentes de Marateca y Rivadesella, cada una de las que cuestan 4.045 y 4.708 pesetas respectivamente. Como estos dos puentes tienen idéntica disposición y distribución de luces, si se observa que las palizadas de Marateca tienen 10 metros de altura, mientras que la cota media de la rasante del puente de Rivadesella sobre el extremo de los pilotes es de 12^m.26, se deduce que nuestra disposición, desde el punto de vista económico, es una de las más favorables, sobre todo si se tiene en cuenta que hubiéramos podido obtener en el puente de Rivadesella una muy considerable economía elevando á 4 kilogramos el trabajo del hierro y fundición en las pilas y pilotes en vez de 2 y 1 kilogramos á que respectivamente

(1) El precio de 800 pesetas para el acero fundido está justificado porque se aplica á las roscas, pues tratándose de grandes pesos ó de acero laminado su diferencia de precio con el hierro no suele pasar de 10 á 15 por 100.

Cuadro del peso y costo de las palizadas de diversos puentes de carreteras.

PUENTES	Altura media de la casaca sobre el eje, metro de los puentes.	Número y longitudes de los tramos.	PESOS					Costo total.	Número de pilas.	Costo de cada palizada.
			Hierro laminado.	Hierro fundido.	Acero fundido.	Totales.	Por palizada.			
	Metros.	Metros.	Kgrs.	Kgrs.	Kgrs.	Kgrs.	Kgrs.	Puestas.	Puestas.	
De Saigón.	13,00	6 tr. de 15,00. . .	1.000	11.000	8	42.000	8.400	5	2.725	
De Soutareum.	16,00	38 tr. de 15,00. . .	71.000	545.000	8	618.000	16.730	37	5.713	
De Veron.	13,00	3 tr. de 20,00. . . .	57.529	3.908	8	61.667	15.291	1	7.470	
		2 tr. de 16,80. . . .								
		3 tr. de 22,50. . . .								
De Maratzen.	10,00	2 tr. de 18,60. . . .	4.200	44.000	8	48.200	12.050	4	4.045	
		2 tr. de 30,70. . . .								
De Azambuja.	22,00	1 tr. de 15,00. . . .	11.500	14.526	8	126.500	21.083	6	7.091	
		2 tr. de 6,50.								
		5 tr. de 32,00. . . .								
De Allaredo.	9	2 tr. de 31,00. . . .	91.121	11.526	8	105.647	13.206	8	6.276	
Rin del Burgo.	17,40	14 tr. de 15,00. . .	136.037	19.292	8	155.329	11.918	13	5.707	
		6 tr. de 19,10. . . .								
3.º grupo. De Rivadecilla.	12,26	12 tr. de 15,75. . . .	80.176	88.168		14.688	183.032	17	4.708	

están sometidos, y si además se hubiera ejecutado la rosca de fundición en vez de acero fundido.

Con estas modificaciones, el precio de la palizada de nuestro puente no pasaría de 2 500 pesetas.

No cabe, pues, duda alguna respecto á la economía del sistema.

Cada palizada del viaducto de Santarém cuesta 5.713 pesetas, á causa de la altura que necesitan y de los dos pilotes taja-mares.

Vienen después los puentes de la ría del Burgo, de Albaredo y Azambuja, si bien en este último hay que tener en cuenta que las palizadas han necesitado por término medio 22 metros de longitud.

Por último, la palizada más cara es la del puente nuevo de Verona, que cuesta 7.470 pesetas, á pesar de su aparente sencillez.

Si hacemos un cálculo análogo con los puentes para ferrocarriles (aunque la comparación sea inexacta), examinado el estado del anexo núm. 3, en que presentamos los pesos de un gran número de puentes, se observa también la superioridad económica de nuestro sistema, pues la pila de la lámina XXV sólo cuesta 990 pesetas, pudiendo resistir á una sobrecarga de 60 toneladas.

Ventajas é inconvenientes de cada uno de los sistemas de palizadas —Difícil es la elección entre las numerosas disposiciones que hemos examinado; pero como al proyectar nuestros puentes con pilas piramidales de hierro laminado sobre pilotes de hierro fundido hemos creído adoptar la mejor, natural es que expongamos las razones á que hemos obedecido.

En primer lugar, acabamos de ver que, desde el punto de vista económico, las palizadas de nuestro sistema son las más baratas, comparándolas con las de otros puentes de análogas condiciones.

Si examinamos esta palizada desde el punto de vista de la *resistencia*, bástanos recordar que hemos calculado sus elementos con tal holgura que, bajo la acción de las cargas máximas de prueba, el coeficiente de trabajo del hierro no pasa nunca de 3 kilogramos en el puente para ferrocarriles y sufre aún mucho menor trabajo en el de Rivadesella.

Por último, si comparamos las palizadas piramidales con las demás examinadas, desde el punto de vista de la *estabilidad*, tampoco creemos que en nada les es inferior.

Por el contrario, la disposición piramidal de los dos castilletes es mucho más estable que la de las palizadas en un plano, pues esos largos pilotes, si bien trabajan en buenas condiciones para resistir á esfuerzos verticales, se encuentran en muy desfavorable situación para resistir á las fuerzas laterales á que pueden estar sometidos, ya sea por efecto de los choques de cuerpos flotantes, ya á la tirantez horizontal producida por las dilataciones de los tramos, ya, por último, á las vibraciones en sentido lateral que en todo tramo produce el paso de los vehículos.

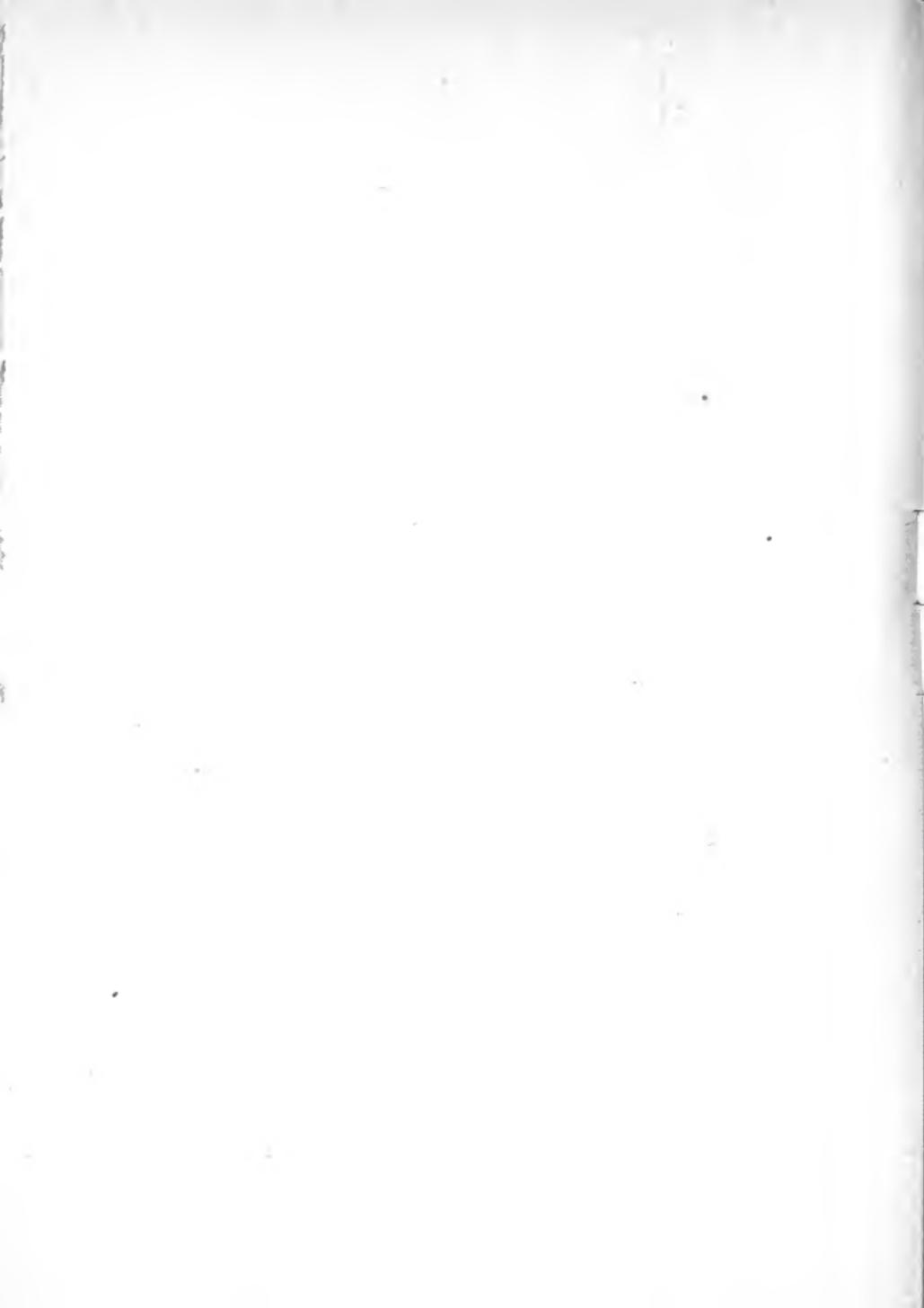
Vemos, pues, en definitiva que la disposición piramidal de las palizadas parece ser la más favorable, no sólo por su economía, sino también por su resistencia y estabilidad.

En su libro sobre faros, y al ocuparse de los construídos sobre pilotes de rosca (1), el inspector D. Pedro Pérez de la Sala llama la atención sobre las hipótesis inexactas que suelen aplicar los ingenieros al calcular las dimensiones de los pilotes de rosca, y no podemos menos de insistir sobre esta muy atinada observación.

En primer lugar, se suele suponer que la carga se reparte uniformemente entre todos los pilotes, y esto no ocurre en muchas de las obras construídas, en donde hay pilotes centrales evidentemente más cargados que los del perímetro. Como conviene, sin embargo, tratar que en lo posible el peso de la construcción se distribuya por igual entre los pilotes, débese procurar, no sólo que la disposición de las palizadas efectúe esta repartición uniforme, sino también, y á ser posible, debe tenerse cuidado de que la pila propiamente dicha se apoye sobre el cimientto de pilotes de rosca por medio de un fuerte marco horizontal bien rígido que regularice las presiones sobre todos los pilotes.

Razón es ésta que hemos tenido muy en cuenta al proyectar las palizadas del puente de Rivadesella y demás palizadas de nuestro sistema, cuyas disposiciones creemos previenen esta dificultad, pues además de la simétrica descomposición de fuerzas que se efectúa en los montantes de las pirámides, los montantes están arriostrados por fuertes entramados horizontales y aspas laterales que dan al conjunto la conveniente solidaridad.

(1) *Señales marítimas*, 2.ª edición, Madrid, 1887, primera parte, pág. 33.



CAPÍTULO XIII

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS DISPOSICIONES EMPLEADAS EN LOS TRAMOS METÁLICOS

Luces ó longitudes de los tramos.—Sistema de vigas.—Continuidad de las vigas.—Celosías.—Ancho del tablero.—Disposición de los andenes.—Disposición del tablero.—Vignetas y larguerillos.—Constitución del piso.—Entarugados.—Pesos de los tramos.—¿Hierro ó acero?

Del examen de los numerosos ejemplos que hemos presentado de puentes para ferrocarriles y carreteras, debemos poder deducir algunas conclusiones que permitan formarse un juicio exacto de las ventajas é inconvenientes de cada una de las disposiciones adoptadas.

Pero para que el estudio comparativo pueda hacerse también desde el punto de vista *económico*, que no es el menos interesante, hemos resumido y presentamos en los anexos 1 y 2 los pesos de los puentes sobre los que hemos podido reunir datos exactos.

Como se ve en estos cuadros, no sólo hemos subdividido el peso de los tramos y palizadas en hierro fundido y laminado, pues estos dos materiales tienen un precio muy diferente, sino que hemos anotado las longitudes de los tramos, las alturas de la rasante sobre el extremo de los pilotes y las pruebas estáticas y dinámicas á que se han sometido los puentes, y que han servido de base para el cálculo de las dimensiones de sus partes, pues son todos estos factores muy esenciales y hay que tenerlos en cuenta al hacer la comparación de los pesos.

Desde luego, en los puentes para ferrocarriles, las diferencias entre los diferentes modelos son muy considerables, pues el peso de los puentes está sobre todo influido por el ancho de la vía y el peso de las locomotoras, que es muy variable y no permite una comparación exacta.

Pero en los puentes para carreteras las diferencias son mucho menos sensibles; vamos á tratar de resumir el resultado

de la comparación de las trece obras que pueden considerarse como tipos de las diferentes disposiciones.

Luces ó longitudes de los tramos.—Para puentes de ferrocarriles vemos que la luz más comúnmente usada es la de 10 metros, que conviene generalmente para las rasantes comprendidas entre 4 y 6 metros sobre el lecho del río, altura que es muy corriente; esta pequeña luz permite palizadas sencillas y tramos ligeros, y con ella debe obtenerse una gran economía de metal.

Sin embargo, se ha aumentado la longitud de los tramos hasta 15 y 24 metros en los puentes de La Viña del Mar y sobre el río Neto en Italia, y en puentes de pequeña importancia se reduce á 6 metros. Si examinamos ahora los puentes para carreteras, vemos que en general se adoptan luces mayores.

Los tramos de 15 metros adoptados por la fábrica Le Creusot, para los puentes de Saigón y Santarem, los propone también Oppermann en el modelo suyo; deben considerarse casi como un mínimo. Es más frecuente la luz de 20 metros, y en algunos puentes (Azambuja y Albaredo) se ha llegado y superado á 30 metros. La determinación de la luz de los puentes puede estar influida, no sólo por el punto de vista económico, sino también por circunstancias locales.

Si la rasante es alta, las palizadas necesitan ser más fuertes y bien arriestradas, y esto permite reducir su número aumentando la luz. Lo mismo ocurre en ríos sujetos á arrastrar cuerpos flotantes en violentas avenidas ó que sean navegables; conviene también entonces disminuir el número de apoyos y construir éstos con solidez suficiente para resistir los choques de maderas ó embarcaciones.

Pero cuando estas circunstancias no ocurren, y para alturas de rasante comprendidas entre 4 y 10 metros, que son las más usuales, las luces más favorables de los puentes para ferrocarriles y carreteras son las de 10 y 15 metros respectivamente.

Debe, por último, tenerse en cuenta que en las vigas de varios tramos, para que éstos tengan un peso propio uniformemente repartido, es necesario aumentar algo la longitud de los tramos centrales (1), y á esta razón obedecen las diferencias que

(1) En la práctica se admite que la luz de los tramos extremos sea igual á los $\frac{1}{2}$ de los tramos intermedios.

se observan en las luces de la mayor parte de los puentes y carreteras. En ferrocarriles, adoptándose generalmente luces menores, no es tan considerable la diferencia en el peso propio de las vigas, y se prefiere entonces adoptar luces iguales aunque sean los tramos continuos.

Sistema de vigas. — Para esta clase de puentes de pequeñas luces se ha empleado siempre el sistema de vigas rectas, de alma llena para luces menores de 10 metros y de celosía para tramos de mayor longitud.

La altura de estas vigas, que conviene sea igual en todo el puente, varía entre el $\frac{1}{8}$ y el $\frac{1}{12}$ de la luz del tramo mayor; pero la costumbre de los constructores europeos, sancionada como buena por la práctica, es de tomarla igual al décimo de la luz del tramo mayor.

Tiene este sistema de vigas rectas la ventaja de su facilidad de construcción y montaje, y es tan económico para luces inferiores á 30 metros como cualquiera de los sistemas modernos de vigas, que sólo deben aplicarse para grandes luces.

Continuidad de las vigas. — Sabido es que, en una viga continua de varios tramos, los tramos centrales pueden considerarse como empotrados, y por lo tanto necesitan menor sección de resistencia, á igualdad de cargas, que los tramos extremos, que están sencillamente apoyados por sus extremos. De aquí se deduce la economía de metal que se obtiene construyendo las vigas continuas, en lugar de hacerlas independientes, y la conveniencia, que hemos antes apuntado, de dar á los tramos continuos luces desiguales para que el peso propio de las vigas resulte uniformemente repartido.

Ahora bien, esta continuidad de los tramos no debe tampoco llevarse muy lejos, pues en longitudes de vigas superiores á 100 metros las oscilaciones de temperatura, que pueden alcanzar 30 y 35 grados en nuestros países, determinan en estas grandes barras metálicas rígidas sensibles dilataciones, muy perjudiciales para el puente. Aunque se apoye esta viga sobre numerosos aparatos de dilatación, no suelen éstos permanecer bien engrasados y oponen siempre resistencias que producen empujes laterales considerables, sobre todo en las pilas ó palizadas extremas, empujes que son peligrosos para su estabilidad; el firme ó los

carriles de la vía pueden llegar á separarse en los estribos 4 ó 6 centímetros, lo que es también un inconveniente, y en general las piezas todas del puente sufren grandes tensiones ó compresiones, para las que no están calculadas.

Tienen también las vigas continuas otro grave inconveniente, al que dan gran importancia algunos ingenieros, los alemanes sobre todo. La menor desigualdad de asiento en las pilas produce extraordinarios esfuerzos en los tramos, que determinan, si no la ruina, por lo menos la rotura ó deformación de algunas piezas. No deben, pues, proyectarse tramos continuos sino cuando se tenga la seguridad de que las pilas no han de sufrir movimientos.

Por último, en los tramos continuos los esfuerzos cortantes y momentos cambian de signo cuando la carga móvil pasa de un tramo á otro, no conviniendo tampoco para la duración del puente estos cambios de trabajo.

Todas estas razones justifican la reacción observada estos últimos años en favor de los tramos independientes, tanto más cuanto que la economía obtenida con la continuidad de los tramos es muy pequeña y no suele pasar del $\frac{1}{40}$ del peso.

Celosías.—La disposición muy comúnmente seguida de constituir las celosías por barras planas en toda la longitud del tramo sin montantes de ninguna especie, aunque muy cómoda para el constructor, presenta varios inconvenientes que la hacen viciosa, y sobre la que conviene llamar la atención.

En primer lugar, los roblones, que se colocan en el cruce de dos barras, las debilitan notablemente cuando tienen pequeños anchos, como suele ocurrir en puentes de escasa luz.

Además, en las barras comprimidas, para las que se supone que están sujetas por estos puntos de cruce considerados como puntos de apoyo, resulta que la deformación se propaga á pesar de estas uniones y que la barra puede ceder y alabearse (*flamber* dicen los franceses) en toda su longitud, contradiciendo así la hipótesis admitida. En las pruebas de dos puentes de celosías planas sin montantes hemos tenido ocasión de comprobarlo, y Resal cita en su obra (1) otro caso por él observado completamente igual al examinado por nosotros. Las celosías próximas

(1) J. Resal, *Ponts métalliques*, tomo I, pág. 165. Paris, 1885.

á los estribos se deformaron completamente bajo la acción de la carga dinámica de prueba, por haber cedido las barras comprimidas, á pesar de su solidaridad con las llantas, que sólo trabajaban á la extensión.

Por estas razones debe modificarse algún tanto la disposición de la celosía y adoptarse la empleada, por ejemplo, en los puentes de Azambuja y Marateca, que también hemos adoptado en el de Rivadesella. Las barras de celosía sometidas á la compresión se constituyen con hierros angulares, más difícilmente deformables que las llantas planas, y se sitúan estos angulares en la parte exterior de la celosía; además, en los puntos equidistantes de la viga en que se apoyan las viguetas, y donde por consiguiente se concentran las cargas, conviene reforzar la celosía con montantes verticales que crucen y se unan á todas las barras que encuentre, debiendo cuidar de que cada barra de celosía encuentre por lo menos un montante. Estos montantes verticales son indispensables, sobre todo en los apoyos y sus proximidades, donde el esfuerzo cortante es máximo.

Se obtiene así, no sólo una gran rigidez en las vigas, evitándose piezas de arriostamiento, si que también un efecto estético mejor con las líneas de sombra producidas por los nervios de celosías y montantes.

Ancho del tablero.—Es muy variable, y depende del de la vía y número de vías en los puentes para ferrocarriles, y del orden ó de la importancia del camino en los de carreteras.

Para el cruce de dos vehículos son indispensables por lo menos los 4^m,50 asignados á la parte central del viaducto de Santarem. Para un solo vehículo bastan los 2^m,50 de ancho que se da al firme en los puentes para caminos vecinales sistema Eiffel y Thomas-Foucart.

En el puente de Rivadesella, que se encuentra en la misma villa y tiene su avenida en el muelle del puerto, hemos considerado necesario aumentar su ancho hasta 7 metros (de los cuales 5 para el cruce de dos vehículos), aunque esta obra pertenece á una carretera de tercer orden, cuyo ancho normal es de 6 metros.

En cambio, en el puente construido por el municipio de Zevio (Italia), y cuya longitud total es de 254 metros, sólo se ha dado este ancho de 7 metros en el tramo central, donde podrán cru-

zarse cómodamente los vehículos (lám. II, fig. 6), reduciéndose el ancho á 5 metros en todo el resto del puente, debiendo ser imitada esta disposición en puentes de gran longitud y pequeño tránsito.

Disposición de los andenes.—En los puentes de hierro, muy principalmente, conviene aislar los andenes de la parte del puente destinada á los vehículos, elevándolos unos 10 ó 15 centímetros sobre la rasante del firme.

Esta disposición permite construir los andenes con mayor ligereza que si hubieran de transitar vehículos sobre esas partes del puente; obliga á los carros á circular por la parte central del puente, evitándose de esta manera los choques contra las barandillas ó vigas laterales, y, por último, esta sobrecarga se reparte así con más igualdad sobre las dos vigas y pilotes correspondientes.

Sin embargo, en el puente de Verona (lám. II, figs. 2 y 3), con objeto de no separar demasiado los dos pilotes principales de la palizada, se han dispuesto los andenes en voladizo y por fuera de las vigas principales; pero si bien esta disposición está justificada para el caso, no presentan generalmente buen aspecto ni comodidad esos largos callejones de 1 metro de ancho.

En el puente de Zevio (lám. II, fig. 7) se han suprimido por completo los andenes, extendiendo el firme en todo el ancho comprendido entre las vigas, con objeto de que en caso necesario puedan cruzarse los vehículos aun en los tramos de 5 metros de ancho.

Disposición del tablero.—Pueden adoptarse diferentes disposiciones, que se denominan de:

Tablero superior, cuando se establece el entramado del piso sobre las cabezas superiores de las vigas principales, como en los puentes de Saigón (lám. I, figs. 1 y 2) y los puentes para ferrocarriles de las láminas III y IV, menos el construido sobre el río Neto (Italia).

Tablero intermedio, cuando las viguetas transversales se unen á la parte media de las vigas principales, como en el viaducto de Santarem (lám. I, fig. 4) y el puente sobre el río Urola, en Guipúzcoa (lám. II, fig. 11).

Tablero inferior, cuando el entramado del piso se apoya sobre

las platabandas inferiores de las vigas principales, como en los puentes de Marateca, Azambuja, Verona, Curtarolo, Zevio, Iruvide y sobre el río Neto.

Cada una de estas disposiciones obedece á las circunstancias locales. Son algo más económicas las disposiciones de tablero superior ó intermedio, porque permiten reducir la luz y dimensiones de las viguetas, quedando los andenes en voladizo, lo que también es más elegante; pero generalmente en estos puentes se dispone de muy poca altura, y es preciso situar el tablero en la parte inferior para elevar las vigas principales fuera del alcance de las grandes avenidas.

Viguetas y larguerillos.—Hasta 5 y 6 metros de ancho, se suele constituir el entramado con viguetas solamente, cuya distancia oscila entre 1^m,50 y 2 metros, y se apoya directamente sobre ellas el palastro ondulado ó placas bombeadas del piso. En este último caso, débese agregar longitudinalmente unos hierros en T que sirven de larguerillos y enlazan entre sí los bordes contiguos de las bovedillas

Cuando la distancia de las vigas principales pasa de 5 ó 6 metros, conviene ya separar más las viguetas, hasta 4 metros, y completar el entramado con larguerillos intermedios, como se ha hecho en los puentes de Marateca, Azambuja y Rivadesella.

Constitución del piso.—Con objeto de aligerar el peso muerto de los tramos y de obtener así alguna economía, se han constituido algunas veces los tableros con *entramados de madera*, formados por viguetas de madera apoyadas sobre las vigas principales, sobre las que se establecían larguerillos en sentido longitudinal. El piso se componía de un entablonado sencillo ó doble, sobre el que podían desde luego circular los vehículos.

Otras veces, sobre el entablonado se extendía una capa de firme. Por último, se ha adoptado también una disposición mixta, que consistía en construir las viguetas de hierro, como, por ejemplo, en el puente de Curtarolo (lám. II, fig. 5), y sobre éstas apoyar los larguerillos y entablonado de madera cubierto por el afirmado.

Sin embargo, hoy día son muy contados los puentes que se construyen con tableros en todo ó parte de madera; la econo-

mía de su adquisición se compensa con las frecuentes y molestas reparaciones á que dan lugar, pues la madera se pudre rápidamente y es costosa la sustitución de cualquiera de las piezas.

Pensóse entonces en constituir un entramado metálico y voltear en él, del mismo modo que en los pisos de construcciones urbanas, *bovedillas de ladrillo* que sostuvieran el piso propiamente dicho. No cabe duda que esta disposición es sólida y permanente, ocasiona pocas reparaciones y ha llegado á ser muy general, en Francia sobre todo, para puentes de carreteras.

Pero tiene el inconveniente de su peso muerto, muy considerable, que obliga á aumentar en proporción sensible la resistencia y peso de los tramos metálicos; así es que, sobre todo en puentes que han de apoyarse sobre palizadas metálicas, no debe emplearse, siendo preferible constituir los pisos con *palastros ondulados* ó *placas bombeadas*.

Los *palastros ondulados*, cuya aplicación puede verse en los puentes de Verona y Zevio (lám. II), llámanse también, aunque impropriamente, *hierros zorés*.

Aunque algo más económicos que las *placas bombeadas*, por necesitar menos peso por metro cuadrado, se oxidan con mayor facilidad que éstas, aun cuando se recubran con hormigón ó asfalto, pues estas capas preservadoras se agrietan pronto y dejan penetrar el agua muy fácilmente. Así es que no debe aconsejarse su empleo sino en casos muy especiales, en que el entramado del piso exija esta disposición.

Las *placas bombeadas* se han generalizado mucho estos últimos años, empleándose en España casi exclusivamente.

Entre los ejemplos de puentes de carreteras presentados, casi todos tienen placas bombeadas, y la experiencia parece sancionar cada día más las ventajas de este sistema.

Generalmente se emplean construyéndolas y colocándolas en forma de bóveda de rincón de claustro; trabaja entonces el metal á la compresión, y se obtiene así una gran resistencia con espesores de 6 á 8 milímetros á lo sumo.

Pero también algunos constructores las han dispuesto con la flecha hacia abajo, sometiéndose el hierro á un trabajo de extensión. La razón de esta innovación consiste en la más fácil evacuación de las aguas por los puntos bajos de estas bovedillas, pero en cambio tienen el inconveniente de que aumenta el

volumen del afirmado y el peso muerto, y necesita mayor espesor para conseguir igual resistencia.

Por nuestra parte creemos que, teniendo cuidado de dejar abiertos un número suficiente de los agujeros para roblones, las aguas que atraviesen el firme y lleguen á las placas podrán desaguar con suficiente facilidad, y consideramos en definitiva superior el sistema de las placas bombeadas, trabajando como bovedillas, á todos los demás sistemas de piso.

Como se puede ver en casi todos los puentes para carreteras construidos sobre palizadas y pilotes metálicos, se ha cubierto el piso, sea el que fuere, con una ó dos capas de afirmado.

Pero así como consideramos que el empleo de la madera debe en absoluto desecharse de los entramados que constituyen el tablero, creemos muy conveniente en los puentes metálicos, cuando llegan á tener cierta importancia y longitud, la sustitución del afirmado que generalmente se emplea por un *entarugado de madera*, análogo al que hemos proyectado para el puente de Rivadesella.

Entarugados de madera.—Se ha empleado con frecuencia en Alemania, Austria y América; pero aun no se ha generalizado su empleo en los demás países, á causa de su elevado precio.

Presenta, sin embargo, muy atendibles ventajas:

- 1.^a Tiene mejor aspecto que los entablonados y firmes.
- 2.^a Evita los choques y vibraciones que producen los afirmados y empedrados.
- 3.^a Es menos pesado que estos últimos y mucho más duradero que los entablonados.

Para aplicar estos tarugos sobre un piso metálico, como ocurre generalmente en puentes de hierro, se recubren los palastros ondulados ó las placas bombeadas de una capa de hormigón, ó de cenizas amasadas con alquitrán, ó de una mezcla de asfalto con serrín de corcho, siendo estos dos sistemas los más ligeros.

Pero como resultan demasiado caros, lo más práctico consiste en cubrir todo el piso con una capa de hormigón, como lo hemos hecho en el puente de Rivadesella, á la que se da el bombeo necesario para la evacuación rápida de las aguas.

En el *Tratado de puentes* de J. Chaix (tomo I, pág. 443) y en otras muchas obras se presentan multitud de disposiciones en caminadas á enlazar las líneas de tarugos unas con otras, al

propio tiempo que conviene que estén separadas por intervalos rellenos de gravilla, que impidan el resbalamiento de las caballerías y permitan las dilataciones de la madera; pero la mayor parte, aunque ingeniosas, son complicadas y no deben emplearse en puentes de carreteras.

Estos se encuentran generalmente aislados; su conservación está á cargo de los camineros, y conviene, por lo tanto, emplear elementos sencillos, de fácil reposición y económica reparación.

En el puente de Rivadesella hemos, pues, propuesto, y ha sido aceptada, la disposición representada en la lámina XXIII, que consiste en filas transversales de tarugos bañados en alquitrán, con las fibras normales al piso y separadas por listones de menor altura; descansan sobre una pequeña capa de arena, extendida á su vez sobre un cimientó de hormigón, al que se da previamente el bombeo necesario. Se espolvorea la superficie con gravilla que rellena todos los huecos y se riega después con alquitrán toda la superficie.

Esta disposición, que es análoga á la empleada en algunas calles de Madrid, ha dado excelente resultado y es de fácil ejecución y reparación.

Pesos de los tramos.—Si en el cuadro anexo núm. 2 que presentamos de los pesos de los puentes sobre carreteras, examinamos las cifras que representan los pesos del hierro laminado por metro superficial de tramo, se ve que oscila entre 285 kilogramos, correspondiente al puente de Saigón, que es el máximo, y 177 kilogramos, que es el mínimo (1), que corresponde al puente de Verona, pudiéndose explicar la diferencia entre estos casos extremos; la disposición del puente de Saigón, que consiste en tres vigas principales, origina generalmente un aumento de peso, y lo comprueba el hecho de que la misma fábrica ha construído el viaducto de Santarem, con igual luz para los tramos y el mismo ancho y disposición de los tableros, reduciéndose en esta obra á 199 kilogramos el peso por metro cuadrado de tramo.

(1) No hacemos la comparación con el muelle de la Rábida, cuyo tramo sólo pesa 119 kilogramos por m², porque esta obra es más bien una pasarela con piso de madera, pero conviene observar, sin embargo, su extraordinaria ligereza.

En cambio, la ligereza de los tramos del puente de Verona se explica por tener este puente los andenes exteriores á las vigas, lo que, como ya hemos dicho, permite alguna economía, debiendo también influir la disposición de viguetas en vigas armadas que se ha adoptado en este puente, y merece consignarse, si bien hasta ahora se ha empleado muy pocas veces.

Dada la solidez con que están constituídos los tramos del puente de Rivadesella y la distancia de sus vigas principales, su peso de 228 kilogramos por m² no tiene nada de exagerado y casi se aproxima al peso calculado por Croizette-Desnoyers en su tabla (anexo núm. 1), si se tiene en cuenta que la mayor parte de los puentes que han servido á este ingeniero para calcular las curvas y tablas de pesos tienen sus pisos construídos á la moda francesa, con bovedillas de ladrillo ú hormigón, lo que disminuye el peso de la parte metálica en el correspondiente á las placas bombeadas, que pesan 54 kilogramos por m².

Aunque sean más heterogéneos los pesos consignados en el anexo núm. 3, correspondientes á los puentes para ferrocarriles, pueden también compararse teniendo en cuenta la desigualdad de número y anchos de vía, y se observa que de todos ellos el más ligero es el de Leza, que sólo da paso á un tranvía movido por fuerza animal, viniendo después nuestro tramo de 10 metros (lám. XXV), calculado para dos máquinas de 27,5 toneladas, que sólo pesa 425 kilogramos por metro lineal.

¿Hierro ó acero?—Es esta una cuestión que, aunque muy discutida aún, parece resolverse á favor del acero, que permite una economía de un 10 á 20 por 100 en las construcciones metálicas.

Bien quisiéramos abordar de lleno tan interesante problema y sostener la conveniencia del empleo casi exclusivo del acero, pero nos llevaría muy lejos y saldríamos del límite de este librito; así que nos reservamos su estudio para otra ocasión.

Aunque en las obras de que nos hemos ocupado no puede ser muy sensible la economía producida por el acero, por la gran ligereza de los tramos y palizadas, conviene emplearlo cuando sea posible, pues las fábricas nacionales de La Felguera, La Vizcaya y Altos Hornos (1) venden sus excelentes aceros laminados casi al mismo precio que los hierros.

(1) La fábrica de Mieres tiene proyectado también instalar la fabricación del acero.

Los forros (goussets) y los roblones deben sobre todo ser de acero.

Cuando los forros son de hierro y están sólo laminados en un solo sentido (lo que se llama *llantón* en el comercio), pueden rasgarse por efecto de los esfuerzos en sentido contrario á que están sometidos. Son, pues, preferibles los forros de acero, cuya textura homogénea hace indiferente el trabajo en cualquier sentido.

Conviene hacer el roblonado de acero, porque así llena el material los huecos, aunque éstos no estén bien calibrados, sin que se rompan las fibras; pero estos roblones de acero, necesitando mucha mayor presión para el remache, sólo pueden ejecutarse bien en las fábricas con máquinas robladoras; se pondrán entonces de hierro solamente los pocos roblones que quedan por coser cuando el montaje.

Con esto damos por terminada esta ligera reseña sobre los tramos rectos, pues aunque falta aún mucho que decir, merece el problema una obrita exclusivamente dedicada al cálculo de sus elementos y á un estudio minucioso de todas las disposiciones empleadas en los tramos rectos. Ya tenemos gran número de datos reunidos y esperamos poderlos completar en breve para su publicación.

CAPÍTULO XIV

HINCA DE LOS PILOTES METÁLICOS

- 1.—*Generalidades sobre la hincada de los pilotes de rosca.*
- 2.—*Hinca de las roscas para amarras de boyas.*
- 3.—*Andamios para la hincada por rotación.*—Andamios de los puentes de Mobile.—Andamios sobre el río Muga.—Andamios del puente de Lewes.—Andamios del puente de Vouneuil-sur-Vienne.—Andamios del muelle de Courtown.—Andamios del dique de Portugaleta.—Andamios del muelle de Vigo.—Andamios del muelle de la Rábida.
- 4.—*Cabrestantes y máquinas para la rotación.*—Cabrestante del muelle de Vigo.—Cabrestante de Delaware.—Cabrestante del puente de Lewes.—Cabrestante del muelle de Villagarcía.—Cabrestante del puente de Vouneuil-sur-Vienne.—Cabrestante del muelle de Huelva.—Cabrestante del puente de Königsberg.—Máquinas especiales para la hincada y serrado de pilotes.
- 5.—*Operarios ó motores que se necesitan para la hincada por rotación, tiempo empleado y costo de la hincada.*—Muelle de Courtown.—Puente de Königsberg.—Puente de Lewes.—Puente nuevo de Verona.—Puente de Zevio.—Puente de Albaredo.—Puente de Vouneuil-sur-Vienne.
- 6.—*Accidentes que pueden ocurrir durante la hincada por rotación.*
- 7.—*Medios auxiliares que facilitan la hincada por rotación.*—Con martinetes.—Con trépanos.—Por inyección de agua.
- 8.—*Hinca por inyección de agua de los pilotes de plataforma y ordinarios y aparato dragador.*
- 9.—*Hinca por percusión de los pilotes de hélices sistema Pozzi.*

§ 1.—Generalidades sobre la hincada de los pilotes de rosca.

La disposición helicoidal de los extremos de los pilotes de rosca indica el método de introducción que se ha de seguir; deben hincarse por rotación, y á primera vista se comprende la superioridad de este método sobre la hincada por percusión, que es menester para los pilotes ordinarios de madera ó de hierro.

El método general consiste en fijar en la extremidad superior del pilote una gran rueda, que podemos llamar cabrestante, con brazos radiales, á los que se aplica una fuerza tangencial que imprime un movimiento de giro, y por ende de penetración al

pilote, que tiene que ir convenientemente guiado por dos ó más collares fijos.

A medida que el pilote penetra baja el cabrestante, y es preciso de cuando en cuando levantarlo para que la fuerza tangencial se aplique en buenas condiciones. El cabrestante tiene, pues, que aflojarse y apretarse con relativa facilidad.

Si el pilote se compone de varios trozos, hay que empalmarlos á medida que él ó los trozos inferiores vayan penetrando, sujetando siempre el cabrestante en la altura media conveniente para el trabajo.

Ahora bien, los detalles de los andamios y aparatos necesarios para efectuar la hinca dependen, no tan sólo del número de pilotes que haya que poner, lo que permitirá amoldar los medios auxiliares á la importancia de la obra, sino, y sobre todo, de las circunstancias en que se encuentre el emplazamiento de la obra.

Si, por ejemplo, es un río cuyo estiaje tenga poco ó casi nada de agua y de nivel constante, se establece muy fácilmente un andamio ligero con un tablero, para que puedan sobre él circular los peones que han de empujar los brazos del cabrestante.

Si el nivel del agua es variable, hay que establecer los andamios sobre uno ó dos barcos ó gabarras, que suben y bajan con el nivel del río ó de las mareas.

Cuando la distancia entre las palizadas es reducida, y no pasa, por ejemplo, de 5 ó 6 metros, entonces es preferible utilizar como andamio la parte de la obra ya ultimada, presentando los pilotes por medio de un bastidor en voladizo, y haciendo girar el cabrestante por medio de un cable ó una cadena que se hace girar con un torno dispuesto en la parte terminada.

La misma variedad puede haber por lo que á los motores se refiere.

En general, basta aplicar la fuerza de los hombres á los brazos del cabrestante ó tirando del cable sin fin, directamente ó por medio de un torno, cuando no se puede establecer el andamio al rededor del cabrestante; otras veces se emplean caballerías ó mulas, que tiran de los brazos del cabrestante como en una noria ó del cable sin fin en línea recta. Por último, cuando el número de pilotes es considerable, puede convenir el empleo del vapor como fuerza motriz, que también permite multitud de combinaciones.

En fin, puede ser necesario ayudar la hinca por rotación con

otros medios auxiliares: ya sea con martinets, que golpeen los pilotes; ya con trépanos, que perforan previamente los obstáculos duros; ya con inyección de agua sobre las roscas, que diluye los terrenos arenosos y facilita la penetración.

Aunque al ingeniero que proyecta no deben preocuparle mucho los procedimientos con que se han de hincar los pilotes, porque es operación que incumbe generalmente á los contratistas y fábricas que ejecutan las obras metálicas (1), no por eso debemos dejar de examinar con algún detalle todos los procedimientos que se han seguido para la hincada de los pilotes, reseñando al propio tiempo las dificultades surgidas y modos de vencerlas; pues no sólo demostraremos así la facilidad de esta operación, si que también utilizaremos la experiencia adquirida para los casos en que haya que proceder por administración á la hincada de pilotes metálicos.

§ 2.—Hincada de las roscas para amarras de boyas.

Se pueden fijar desde una balsa ó desde la popa de un barco (lámina XXVII, figs. 1 y 2), con tal de que se hallen bien sujetos con seis anclotes por lo menos y que puedan aguantar un peso de cinco ó seis toneladas sin sumergirse.

Para esta operación se emplea un molinete ó torno de hierro, dos cabrias y dos buenos aparejos para suspender la cadena y los barrotes ó vástagos del pilote, cuya longitud variará según la profundidad del paraje en que se ha de colocar; así, pues, en general los aparejos deben ser capaces de levantar cada uno un peso de tres toneladas.

Se empieza colocando la rosca que ha de servir de amarra bajo la cabria dispuesta al extremo del barco y se atornilla el primer vástago; se enganchan los dos aparejos, uno á la rosca y el otro al extremo superior del vástago, y se suspende el pilote, empleando sólo el primer aparejo para aliviar el peso, por lo cual no se hace más que tenerle templado; cuando la rosca y el vás-

(1) Los precios de las unidades de obra no necesitan sufrir gran alteración por esta circunstancia. En el puente de Rivadesella hemos asignado 500 pesetas á la tonelada de hierro laminado ó forjado, 320 á la tonelada de hierro fundido, 800 á la de acero, incluyendo en este precio todas las operaciones necesarias para dejar completamente terminada la obra. incluso hincada de pilotes, montaje de palizadas y tramos.

tago están suspendidos y éste casi vertical, se quita el primer aparejo y se deja ir descendiendo el pilote en el agua sólo con el segundo. Si un barrote no tiene suficiente longitud para llegar al fondo, se atornilla otro, empleando el aparejo que ha quedado libre para suspenderle, y después de atornillado se fija bien este mismo aparejo al extremo del segundo vástago, que será ya el extremo del pilote y se quita el otro aparejo; si aun no tuviera suficiente longitud, se añade un tercer barrote, del mismo modo que hemos indicado, hasta que la rosca llegue al fondo y al sitio conveniente.

Hecho esto, se coloca en la extremidad superior del pilote la cabeza de un cabrestante, como se indica de las figuras 3 y 4, con sus barras ó palancas á una altura conveniente para poder trabajar. En seguida se pasa un cabo continuo por las horquillas en forma de Y de las palancas, y se lleva al cilindro de un molinete ó torno de hierro, al rededor del cual debe dársele tres vueltas antes de empezar á hacerle girar.

Para esta operación se necesitan 12 hombres, distribuídos de la manera siguiente: 5 en cada una de las dos manivelas del torno, uno para conservar el cabo tirante en el cilindro en que se va arrollando y otro para irle suministrando á las muescas ó aberturas en Y.

§ 3.—Andamios para la hinca por rotación.

Andamio del puente de Mobile.—Para hincar los 51 pilotes del puente descrito en el capítulo V se empleó el andamio representado en la lámina XXVII, figuras 5, 6 y 7, que afecta una forma piramidal y que lleva una rueda dentada horizontal, cuya rotación se obtiene por medio de un tornillo sin fin, accionado por un manubrio.

Se aplicaba al pilote un manguito fuertemente apretado, y éste se unía á la rueda dentada con varillas articuladas que tenían algún juego para permitir el descenso del pilote.

La profundidad mayor alcanzada por los pilotes en el lecho de arena del río fué de 5^m,64, y la menor de 4^m,36, correspondiente al pilote central del puente giratorio, sin duda por ser el diámetro de éste de 1^m,80 y presentar mayor resistencia á la penetración.

Andamio del puente sobre el río Muga (lám. XXIX, figs. 4, 5 y 6).—Este puente, representado en lámina V, tiene sus palizadas situadas á la distancia constante de 10 metros y los pilotes debían hincarse con un pequeño talud.

Hay que advertir que en el emplazamiento de este puente no corría el agua.

Se construyó, pues, el andamio representado por las figuras, que comprendía un tramo entero de 10 metros. Se sujetaba una de sus extremidades á la última palizada hincada por medio de dos collares sujetos con tornillos, y en el otro extremo se situaban los pilotes de la palizada siguiente, que guiados por otros collares iguales obligaban á los pilotes á hincarse en la dirección precisa.

El andamio, comose ve, consiste en una gran mesa de madera, apoyada sobre cuatro carreras horizontales y con el entablonado del piso á 2 metros de altura. Las escuadrías y disposiciones de las piezas aparecen con suficiente claridad en la figura.

Andamio del puente de Lewes.—Se empleó también un andamio parecido al que acabamos de describir, sólo que aquí los tramos tienen una luz constante de 6^m,70 y las palizadas se componen de 5 pilotes verticales en la parte más ancha del puente y de 3 en el resto de la obra (1). Hubo que hincar 300 pilotes.

Se llevaban los pilotes por medio de dos lanchas á su emplazamiento, y con una grúa se los suspendía por su cabeza dejándolos colgar libremente dentro de las guías fijadas en uno de los extremos del andamio, sujeto por el otro extremo y con tenazas análogas á la palizada anterior. Después de dejar caer el pilote por su propio peso y bien determinada su situación con un teodolito y una plomada, se fijaban las guías de un modo invariable con riostras en diagonal unidas á la palizada anterior.

Se aplicaba entonces sobre el pilote y á la altura conveniente un collar que llevaba dos púas de acero, que se apretaban fuertemente por medio de dos tornillos de presión, y se hacía entonces descender el cabrestante que luego describiremos, que se acuñaba por rotación.

Una vez hincados los pilotes de una palizada, se montaban los

(1) Descrita en el capítulo V.

capiteles, las cruces de San Andrés que los arriostraban entre sí y con la palizada anterior, se colocaban los largueros y el tramo correspondiente, corriéndose todo el andamiaje á la palizada siguiente.

Andamio del puente de Vouneuil-sur-Vienne (lám. XXIX, figuras 1, 2 y 3).— En el capítulo IX, § 5, describimos el sistema de fundación y los pilotes empleados para las pilas del puente de fábrica de Vouneuil-sur-Vienne, que como dijimos consistió en envolver una serie de pilotes de rosca de fundición en un macizo de hormigón contenido por un cajón sin fondo, cubriendo el pilotaje con un emparrillado y sentando encima del conjunto la hilada de zócalo de las pilas.

Para la hinca de estos pilotes se procedió de la siguiente manera:

Después de dragada la excavación hasta cierta profundidad y de colocado el cajón sin fondo del recinto, se estableció un andamio con un piso horizontal apoyado en algunos pilotes de madera hincados fuera del recinto. La altura del piso variaba según el nivel del río.

Con lanchas se traían los pilotes y el material de hinca sobre dicho piso: se colocaban dos carreras horizontales, de $0^m,25 \times 0^m,25$ de escuadria, paralelamente á las líneas de pilotes previamente trazadas en el piso y á una distancia entre sí de $0^m,90$, fijándose entonces fuertemente al piso.

Una vez presentado un pilote, para guiarlo durante la hinca se cogía entre los dos collares articulados, representados por la figura 3, que á su vez se sujetaban á las carreras del piso antes citadas, apretando los pernos.

Una vez terminada la hinca de un pilote se aflojaban estos pernos, corriéndose las bridas entre las mismas carreras hasta el emplazamiento del pilote siguiente, y cuando se habían hincado todos los pilotes de una fila se llevaban las carreras paralelamente á la fila siguiente.

Luego describiremos el cabrestante y el detalle de las operaciones.

Andamio del muelle de Courtown (Irlanda) (lám. XXX, figuras 1 y 2).—Esta obra, construída en 1847, se describe en el capítulo VII.

Se pensó primeramente en efectuar la hincada de los pilotes con gabarras, siguiendo un procedimiento análogo al empleado para la hincada de las roscas de amarra de boyas que hemos descrito al principio de este capítulo; pero hubo que renunciar al sistema á causa de las resacas que se hacen sentir en aquella costa.

Imaginóse entonces, dada la pequeña distancia entre las palizadas, que era de 5^m,42, utilizar como andamio la parte ya construída del muelle, y avanzando así por tramos sucesivos, procediéndose como sigue y según se representa en las figuras.

El pilote que había de hincarse se empujaba sobre rodillos, bajándose verticalmente á su emplazamiento, guiando esta presentación por medio de una polea directriz fijada en la extremidad de una carrera de madera en voladizo y unida á la extremidad del muelle ya construída.

Se acuñaba entonces el cabrestante, efectuándose la hincada por medio de un cable sin fin tirado por peones que maniobran desde el piso del muelle anteriormente levantado.

Una vez hincados los dos pilotes de una palizada, se montaban las vigas y traveseros del tablero y se hacía avanzar el andamio en voladizo hasta el emplazamiento de la palizada siguiente, y mientras se hincaban los dos pilotes de ésta se fijaban las cruces de San Andrés y el piso definitivo del tramo anterior.

Andamio del dique de Portugaleta (lám. XXX, fig. 3).—Análogo procedimiento, aunque perfeccionado, se siguió para la hincada de los pilotes del dique de Portugaleta, descrito en el capítulo VII.

El andamio consiste en una vagoneta montada sobre tres pares de ruedas, de 13 metros de largo con 3 de ancho de rueda á rueda. Desde el medio de la vagoneta arrancan dos tornapuntas que vuelan 6 metros (distancia entre las palizadas), unidos entre sí por travesaños horizontales y apuntalados sobre el extremo de la plataforma como indica la figura, y por la parte superior por dos tirantes de hierro de extremo á extremo en sentido longitudinal, formando con cada tornapunta una viga armada.

En el extremo opuesto de la vagoneta se emplaza una máquina de vapor con caldera vertical, que sirve de contrapeso al vuelo del otro extremo, y además acciona el torno en donde se arrolla el cable sin fin del cabrestante.

Los pilotes de las dos últimas palizadas hincadas se encepán

con dos carreras horizontales y paralelas, que vuelan también hasta la palizada siguiente y sirven de guías para la inserción de los pilotes, con la inclinación que éstos deben tener.

Como el muelle está en una curva de 3.000 metros de radio, los tornapuntas de la vagoneta y las carreras de guía tenían la oblicuidad conveniente para que los pilotes se situaran en los puntos precisos, habiéndose así obtenido una curvatura perfectamente regular y matemática.

El cabrestante, de 3 metros de diámetro, llevaba un eje con una llave macho de sección hexagonal, en la que se hacía entrar la cabeza del pilote, que, como hemos visto (lám. XV, fig. 2), tenía la misma sección.

Andamio del muelle de Vigo (lám. XXX, figs. 4, 5 y 6).— Como se ve en las figuras, el andamio es muy parecido al empleado en el dique de Portugalete que acabamos de describir, siendo la misma fábrica, *La Maquinista terrestre y marítima de Barcelona*, la que ejecutó estas dos obras.

Como el muelle está compuesto de cinco filas de pilotes, el contratista montó dos carros sobre las filas exteriores, quedando la del centro servida por una cabria que unió á uno de los carros. En realidad hubiera sido más sencillo emplear un solo carro, que se apoyase sobre las tres palizadas del centro y llevase una cabria que permitiese colocar todos los pilotes; las maniobras resultarían más sencillas, el número de aparejos menor y bastaría también un solo torno de vapor en el centro, en vez de los dos que se montaron en los carros citados. Hubieran sido también más fáciles los cambios de dirección del andamio, puesto que el mismo tiempo se hubiera tardado en verificar el giro de un solo carro central que el empleado en cada uno de los laterales. Aparte de estos detalles, el servicio prestado por los andamios fué excelente, y estaban al terminar la obra en condiciones para ejecutar mucho más trabajo que el efectuado en el muelle de Vigo.

Los pilotes se guiaban por medio de dos bastidores, representados en las figuras 5 y 6, que se colocaban el primero á la altura más baja posible, según las mareas, y el otro 2 metros más arriba. Estos bastidores se unían invariablemente á dos palizadas ya hincadas, y se les daba la rigidez necesaria por medio de cruces de San Andrés que se ajustaban con cuñas.

La hinca se ha llevado á cabo con dos tornos de vapor, de fuerza de cuatro caballos uno y de cinco otro, y se empleó el cabrestante que se describe más adelante.

Andamio del muelle de la Rábida (lám. XXX, figs. 7 y 8).— Para la hinca de los pilotes de esta obra, que describimos en el capítulo VII (láms. X y XXVII), se construyó un andamio general en todo su emplazamiento sobre pilotes de madera de $0,26 \times 0,26$ de escuadria en la parte más avanzada y de $0,28 \times 0,10$ en la parte de tierra.

Consistía el andamio en palizadas, que representamos en las figuras, situadas á 4 metros de distancia, y cada una de ellas constituida por dos pilotes á 2 metros de distancia, enlazadas por unos cepos horizontales superiores, enrasando con las pleamares vivas, sobre los que corrían los largueros que sostenían los carriles de la vía y tablonés que proporcionaban piso para las maniobras y replanteos.

Sobre los carriles se movía una grúa de dos toneladas de potencia, $4^m,60$ de alcance y $6,5$ toneladas de peso.

La hinca de los pilotes metálicos se hizo con un cabrestante de $3^m,15$ de diámetro, movido por dos tornos de engranaje de una tonelada de potencia cada uno, en cuyas manivelas actuaban seis hombres.

Las enmendadas del cabrestante, cuando éste tocaba en el andamio, se hacían con la grúa ya citada.

El tiempo empleado en la hinca varió mucho, y dependía de la naturaleza del terreno. Así, por ejemplo, el primer pilote que se hincó en la plataforma se introdujo 5 metros con gran facilidad moviendo los brazos del cabrestante á mano, mientras que otros pilotes necesitaron tres días para alcanzar 3 metros de penetración.

Este modelo de andamio, que á pesar de su ligereza ha prestado excelente servicio, puede también ser utilizado en la hinca de pilotes y montaje de puentes.

§ 4.—Cabrestantes y máquinas para la rotación.

Cabrestante del muelle de Vigo (lám. XXXI, figs. 1 y 2).— Tiene $4^m,30$ de diámetro total y 8 brazos de madera que llevan en sus extremos unas muescas de hierro, en las cuales viene el

cable sin fin que se arrolla al torno movido por la máquina de vapor (véase lám. XXX, fig. 4).

La sujeción del pilote al cabrestante se efectúa por medio de cuatro alabes excéntricos de hierro, que giran al rededor de 4 pernos AA cuando se imprime al cable un movimiento de tracción. Fácilmente se comprende que la presión de las clavijas cónicas A por un lado y por otro el giro del cabrestante comprimen los alabes contra el pilote hasta el punto de arrastrar á éste en el movimiento del cabrestante.

La parte central del cabrestante se compone de dos coronas de palastro que sujetan fuertemente una corona central de madera por medio de un gran número de roblones que aprietan el conjunto. En la corona de madera hay 8 cajas para recibir los brazos del cabrestante, que por sus extremos quedan á su vez arriostros y sujetos por medio de cadenas.

Este modelo de cabrestante es quizá el más sencillo de cuantos se han imaginado, á pesar de lo que ha prestado excelentes servicios en la hinca de los pilotes de casi todos los muelles construidos en Galicia, razón por la que puede aconsejarse su empleo.

Cabrestantes del muelle de Delaware.—En esta obra, descrita en el capítulo VII, se emplearon dos modelos de cabrestantes, que se fijaban á los pilotes por un medio análogo al imaginado para el muelle de Vigo.

En el primer modelo, que se representa en la figura adjunta, la parte central presentaba tres ranuras en forma de cuña, en las que se introducían pequeños cilindros de acero de 0^m,025 de diámetro y 0^m,15 de longitud; la rueda estaba sostenida por un collar que se sujetaba al pilote por medio de pequeñas púas de acero que se apretaban fuertemente contra el pilote.

Claro es que, al imprimir á los cuatro brazos del cabrestante un movimiento de giro, los pequeños cilindros se apretaban cada vez más á medida que iban rodando hacia la parte estrechada de las ranuras, hasta que la compresión fuera suficiente para arrastrar al pilote en el movimiento de giro de la rueda. Para soltar el cabrestante bastaba imprimirle un pequeño movimiento en sentido contrario.

En el segundo modelo de cabrestante se aumentaron hasta 8 sus brazos, y se substituyeron los cilindros por tres alabes ex-

céntricos que oprimían y arrastraban al pilote. Pero el conjunto de la rueda resulta complicado, razón por la que no damos más detalles de este cabrestante, que pueden verse en el *Rapport de Mission de l'Ingenieur des Ponts et Chaussées* Cadart, ó en la obra de Mr. Grange sobre pilotes metálicos.

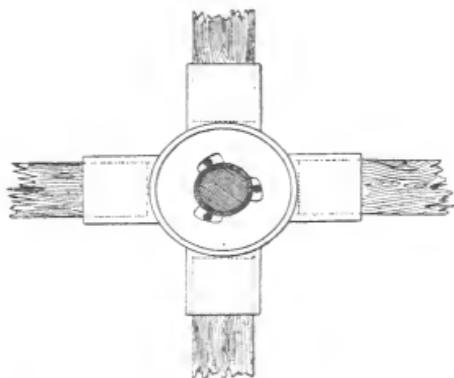


Fig. 34.

Cabrestante del puente de Lewes.—Análogo sistema de cabrestante se empleó en este puente americano.

La rueda horizontal tenía 4^m,27 de diámetro con 8 brazos, y se fijaba al pilote con tres pernos de acero de 0^m,025 de diámetro y 0^m,15 de largo, que se introducían en ranuras excéntricas.

Cabrestante del muelle de Villagarcía.—La fábrica de Braisne-le-Comte, que fué la que ejecutó la parte metálica de esta obra, remitió también el cabrestante representado por la figura 35, en la página siguiente.

Constaba de dos placas de palastro, entre las que se sujetaba un cubo de una sola pieza de fundición. En las aberturas que quedaban en éste se introducían los 8 brazos de palanca, de madera de acacia.

Pero al ejecutarse la hincada del primer pilote se rompió el cubo en el fondo de las cajas, quedando convertido en el collar central y los ocho sectores intermedios entre las cajas de las palancas; en esta forma se usó en la hincada de 5 ó 6 pilotes, pero después,

por la presión de las cuñas, llegó á saltar el collar central y en esta disposición resultó inútil.

Se modificó entonces haciendo de hierro forjado el collar central y de madera de roble los ocho sectores, con lo que se obtenía mayor ligereza y elasticidad en el conjunto.

Además, y para evitar que la tensión del cabo se aplicara á un solo brazo, se unieron los extremos de éstos por cadenas, resultando en conjunto un cabrestante análogo al del muelle de Vigo, antes descrito, salvo la sujeción al pilote, que se efectuó por cuñas en vez de hacerse con excéntricas.

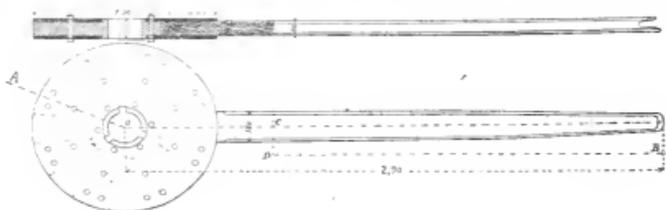


Fig. 55.

El andamio empleado también es análogo al del muelle de Vigo, y de este modo se hincaron los 256 pilotes que componen el muelle de Villagarcía.

Más adelante citaremos algunos incidentes que ocurrieron durante estas operaciones, pero por de pronto vemos que conviene ejecutar los cubos de los cabrestantes de madera dura.

Cabrestante del puente de Vouneuil-sur-Vienne (lám. XXXI, figuras 3 y 4). — La disposición de este cabrestante ha sido imaginada por el ingeniero Mr. Grange, autor del proyecto y director de las obras del puente de Vouneuil-sur-Vienne, y que, como hemos dicho, escribió un interesante libro sobre las aplicaciones de los pilotes metálicos (1).

Se compone el cabrestante de dos placas gemelas de fundición: la placa superior lleva en su centro un aro tronco-cónico fundido con ella; la placa inferior es una corona sencilla de 0^m20

(1) *Etude sur l'emploi des pieux métalliques dans les fondations des ouvrages d'art.* Paris, 1892.

de ancho. Entre estas dos placas se colocan dos cuñas de madera, unidas con pernos que las atraviesan y dejando entre sí los intervalos necesarios para los 8 brazos del cabrestante, que son de roble y tienen 3 metros de longitud.

Los polipastos que se sujetan á la cabeza del pilote se enganchan por su parte inferior á 4 anillos, que con gruesos pernos quedan fijados al cabrestante.

Esta disposición, característica del sistema, tiene la ventaja de que por medio de los polipastos se puede fácilmente levantar el cabrestante, situándolo á la altura conveniente y cómoda para el trabajo de los peones que empujan sus brazos. Además, si el acuañado del tubo-pilote con el cabrestante (que se efectúa con cuatro cuñas de madera interpuestas entre el pilote y la abertura circular de la placa superior del cabrestante) no es completa, no por eso deja de girar el pilote tan pronto como quedan tirantes las cuerdas de los polipastos.

Cabrestante del muelle de Huelva (lámina XXXI, figs. 5 y 6).—Para la hincada de los pilotes de este muelle, descritos en el cap. IX, § 6, se empleó el cabrestante representado en la lámina XXXI, que es todo de hierro fundido en la parte central ó cubo y laminado en los brazos y en la llanta exterior.

Dentro del cubo se introducía el tubo maestro de hincada representado por la figura adjunta, y á cuya brida inferior se unía la brida del último trozo de tubo que se trataba de hincar. Este tubo maestro es de acero fundido, tiene 5 metros de longitud y la misma sección que los pilotes.

Las ranuras longitudinales tienen por objeto hacer que este tubo y el cabrestante formen una sola pieza por medio de unas clavetas *cc* que penetran la mitad de su espesor en el tubo y la otra mitad en las análogas del cubo del cabrestante, como se ve en la figura 6.

Los agujeros que presenta en su superficie sirven para ir pasando por ellos un perno, sobre el cual descansa el cabres-



Sección por CC



Fig. 36.

tante todo el tiempo que se invierte entre dos enmendados de éste.

El extremo sin brida de este tubo maestro se empleó para la hincas de los pilotes mixtos de madera y fundición (lám. XVII, figura 4), que tampoco llevan brida en su extremo. Se unían ambos con el mismo manguito RR, que después se une al regatón MNPQ, en que se enchufa el vástago de madera.

La hincas se efectuó sin inconveniente alguno con los aparatos descritos, dos tornos de engranaje de una tonelada de potencia, actuando seis hombres en cada uno, y un cable de abacá de 0^m,05 de diámetro, del cual se arrollaban dos vueltas á la llanta del cabrestante.

Cabrestante para los tubos del puente de Kœnisberg.—Para hincar los 10 tubos que constituían las palizadas de este puente, y que por sus extraordinarias dimensiones (tubos de 0^m,79 de diámetro y hélices de 1^m,50) parecen ofrecer serias dificultades, se empleó un aparato análogo á los ya descritos anteriormente.

El cabrestante estaba compuesto por dos chapas de hierro de 13 milímetros, unidas entre sí por hierros en ángulo y formando dos discos circulares de 1^m,83 de diámetro y á una distancia de 0^m,16. El intervalo entre las dos chapas se rellenó con tarugos de madera dura y cuatro cuñas de hierro dulce, y se aseguró el conjunto con 150 pernos.

Esta pieza se fijaba sólidamente al tubo por medio de cuñas que se introducían en los huecos de los refuerzos de las bridas (véase la lám. XVII, fig. 18), lo que impedía el giro del tubo, y otras cuñas apoyadas sencillamente contra sus paredes evitaban que el cabrestante se corriera á lo largo de la columna ó tubo.

En el cabrestante se fijaban ocho brazos de roble que llevaban en sus extremos unas cajas de fundición con dos orejas ó apéndices, de las que partían tirantes horizontales de hierro de 25 milímetros de diámetro, que arriostaban entre sí los extremos de los ocho brazos.

Estos tirantes llevaban manguitos de rosca con tornillos de presión, que permitían atirantarlos perfectamente, con lo que se conseguía una gran rigidez en el conjunto del cabrestante.

Al rededor del octógono constituido por estos tirantes venían dos cables que se unían á un fuerte torno fijo en un andamio que se movía con una cuadrilla de diez y seis operarios.

Es obvio añadir que el tubo estaba guiado en su descenso vertical con dos robustos marcos de madera, que lo sujetaban en una posición invariable.

Máquinas especiales para la hinca y aserrado de pilotes.—Se han imaginado varias máquinas para producir mecánicamente la hinca de los pilotes de rosca, pero son caras y complicadas, y sólo pudiera justificarse su empleo en la hinca de un número extraordinario de pilotes.

Entre otras puede citarse la presentada en la lámina 321 del *Tratado de puentes* de Morandiere (1), que se empleó en la hinca de los pilotes de los puentes del ferrocarril del Norte de Punjab (India inglesa).

Un carro de vapor sobre cuatro ruedas lleva una caldera y una máquina de vapor que acciona un sistema de ruedas dentadas y piñones que producen la rotación y la hinca de los pilotes. Sustituyendo la varilla del pilote por un árbol que lleva una sierra circular se pueden recortar los pilotes á la altura conveniente.

En los ensayos de esta máquina se hincaron dos pilotes á una profundidad de 3 metros, en arcilla compacta, en veintitrés minutos, y se sacaron en dos minutos y medio con una presión media en la caldera de 6 kilogramos por centímetro cuadrado.

La misma máquina aserró un pilote de alma llena de hierro en veintinueve minutos.

§ 5.—Operarios ó motores que se necesitan para la hinca por rotación, tiempo empleado y costo de la hinca.

En el muelle de Courtown se hincaban dos pilotes al día, á profundidades de 3^m,30 á 4^m,50, en un terreno compuesto por una capa de 2^m,50 de arena y guijo, sobre una capa de arcilla azul. El número total de operarios no pasaba de diez.

En cambio, en el puente de Kœnisberg, los tubos de 0^m,79 de diámetro, con hélices de 1^m,50 y una longitud total de 9^m,50, se hincaron 5^m,90 en un terreno compuesto por capas de arena y arcilla azul, necesitando cada tubo seis días de trabajo con una

(1) También puede verse en los *Annales industrielles*, 1869, lámina 89, y en el *Engineering* de 6 de agosto de 1869.

cuadrilla de diez y seis peones; es decir, dos meses para los diez tubos. Pero téngase en cuenta el extraordinario diámetro de los tubos empleados en este puente.

Puente de Lewes.—La hincas de los pilotes de este puente, en un terreno compuesto de guijo bastante grueso, ofreció al principio tales resistencias que en las dos primeras palizadas hubo que emplear *veinte hombres* y cuatro mulas para introducir los pilotes á 2^m,44 de profundidad, habiendo también ocurrido en alguno de ellos que se rompieron por tres veces las alas de las hélices antes de llegar á 2^m,13.

Fué necesario facilitar la hincas inyectando una corriente de agua sobre la superficie *superior* de las hélices, según luego explicaremos.

El máximo resultado que se obtuvo fué de hincar cuatro de los pilotes más cortos en un solo día, pero los hubo entre los largos que llevaron más de un día de trabajo. Verdad es que estos últimos se hincaron hasta 10 metros, en un terreno compuesto inferiormente por margas.

Para la construcción de este puente de 518 metros de longitud, que costó 225.000 duros, además del ingeniero y sus ayudantes sólo fueron necesarios doce peones, cinco carpinteros, dos carreteros, dos buzos, un pintor y un pinche.

Análogo sistema se empleó para hincar los pilotes del muelle sobre el Delaware, cuyo cabrestante describimos anteriormente. Se accionaba éste con cuatro mulas; pero también fué preciso ayudar la hincas con un chorro de agua inyectada por un tubo de 31 milímetros de diámetro, con lo que se evitaron roturas de las hélices y pudo llevarse la hincas á través de capas superpuestas de arena, fango, arena con conchas y grava hasta profundidades de 10 metros.

Puente nuevo de Verona.—En la parte segunda de un libro del ingeniero italiano G. B. Biadego (1) se presentan muy interesantes detalles sobre la hincas de los pilotes de rosca de éste y otros puentes construídos en Italia. En diagramas y estados se representan los diversos incidentes ocurridos; pero no podemos

(1) *Monografie tecniche, Ponti in ferro ad arco, ponti in ferro a stillate metalli-*
che, etc. Verona, 1885.

reproducirlos *in extenso* para no desarrollar demasiado nuestro trabajo, ya bastante prolijo.

Extractaremos, sin embargo, algunos datos que juzgamos de particular interés.

En el puente nuevo de Verona se principió la hinca con un cabrestante de 6^m,30 de diámetro, manejado directamente por *veinticinco homores*; pero pronto se vió que era insuficiente para lograr la hinca completa de los pilotes, y se aumentó entonces hasta 8 metros el diámetro de los brazos, siendo necesario llevar el número de *peones* hasta *cincuenta y sesenta*.

Aun así no escasearon las dificultades en la hinca, á causa principalmente de haber quedado enterrado en el lecho del río algunos pilotes y piezas del primer puente.

En general, los pilotes entraban sin dificultad hasta 1^m,50 ó 2 metros; pero entonces la penetración se retrasaba, por encontrarse á esta profundidad una capa de guijo más compacta. Perforada ésta, proseguía de nuevo la hinca hasta profundidades de 3 á 5 metros, que no pudieron superarse sin correr peligro de romper las hélices, ocurriendo además varios incidentes que enumeraremos más adelante.

Puente de Zevio.—La hinca de los pilotes de este puente, descrito en el capítulo IV, se ayudó primero con un mazo de 80 kilogramos, cuyo pesó llegó á aumentarse hasta 300.

El cabrestante tenía ocho brazos y un diámetro de 6 metros.

Las condiciones de rechazo eran de obtener menos de milímetro y medio de hinca con *treinta y seis hombres* en los pilotes de 0^m,125 de diámetro y *cuarenta y dos hombres* para los pilotes de 0^m,160, ayudando la hinca con dos tandas de golpes de martinete de setenta golpes cada una.

El pilote núm. 28 llegó á 3^m,64 con *cuarenta y dos hombres*; aumentando el número de éstos hasta *cincuenta y uno*, se pudo alcanzar una profundidad de 5^m,72, pero en tres días de trabajo. Verdad es que fué uno de los que ofrecieron mayor resistencia.

Puente de Albaredo, sobre el Adige.—En esta obra, el cabrestante empleado sólo tenía 2^m,70 de diámetro, con ocho brazos de madera. Se aplicaron sobre él de treinta y siete á cuarenta y dos peones.

La longitud total de hinca para los treinta y cuatro pilotes

fué de 183,45 metros lineales, empleándose en ello 10.337 horas de trabajo.

Resulta, pues, para cada hora de trabajo $0^m,0177$ de hinca, y para la hinca de un metro lineal de pilote 56 horas de trabajo.

Esta hinca se hizo con toda regularidad, sin necesidad de ayudarla con martinete, lo que demuestra que el fondo era fácilmente permeable, pues estaba constituido por capas sucesivas de arena gruesa y guijo menudo.

Puente de Vouneuil-sur-Vienne.—Con el andamio y cabrestante que hemos descrito en los epígrafes anteriores se efectuó sin dificultad la hinca de los pilotes de esta obra.

Se empezaba poniendo dos peones en cada brazo del cabrestante, es decir, 16 peones.

El pilote no empezaba á penetrar sino después de cinco ó seis vueltas completas, cuando las cuerdas de los polipastos quedaban bien tirantes y con la posición indicada por la figura 1, lámina XXIX. El trabajo era bastante fatigoso, y de cuando en cuando necesitaban los peones descansar.

Cuando se encontraba alguna resistencia excepcional se añadían algunos peones más.

Cada $0^m,70$ de hinca se levantaba el cabrestante por medio de las cuerdas del polipasto y se acuñaba de nuevo, continuando la hinca.

De este modo, y una vez bien organizado el trabajo, se logró efectuar, por término medio, la hinca de dos pilotes al día, con una profundidad media de 6 metros; es decir, que en tres meses pudo terminarse la cimentación de tres pilas, comprendiendo la colocación de tres cajones sin fondo, hinca de 51 pilotes, relleno de hormigón, montaje del emparrillado y asiento de la hilada de zócalo.

Esta rapidez de ejecución para los cimientos es una ventaja no despreciable en ríos de niveles muy variables y expuestos á imprevistas avenidas.

También conviene citar algunos datos interesantes sobre el costo de estos cimientos, ejecutados por administración. El material auxiliar adquirido, y que quedó propiedad de la administración, se componía de un cabrestante, de cuatro pares de polipastos con sus cuerdas, de un collar doble articulado de guía, un trépano y dos llaves. Costó la suma total de 1.035,19 francos.

He aquí el detalle de los pesos y precios del metal empleado en la cimentación de las tres pilas:

1.º 51 pilotes de rosca, pesando 32.118 kilogramos, á 0,39 el kilogramo.	12.526,00 francos.
2.º Pernos de ensamble, 455 kilogramos, á 0,70.	318,50 —
3.º 112 clavijas, 135 kilogramos, á 0,70.	94,60 —
4.º Rondelas para falsos pilotes.	55,00 —
Total.	12.994,10

A este gasto débese añadir el de la mano de obra y gastos de andamiajes, que fueron:

1.º 7.742 horas de trabajo de peón, á 0,40 francos..	3.096,80 francos.
2.º 798 horas de trabajo de carpintero, á 0,60.	478,80 —
3.º Corte de algunos pilotes con buril.	256,00 —
4.º Andamios provisionales, 44 ^m ,54 de madera á 18 pesetas metro.	801,72 —
5.º Gastos de montaje de andamios.	437,73 —
Total.	5.071,05

Resulta, pues, un gasto total de 18.065,15 pesetas para los gastos de adquisición é hinca á 6 metros de 51 pilotes. Cada pilote puesto en obra costó, pues, 354,21 pesetas, de las cuales 99,43 corresponden á la hinca.

§ 6.—Accidentes que pueden ocurrir durante la hinca por rotación.

En el muelle de Vigo, el terreno estaba constituido por una capa de arena muy compacta, y antes de llegar á la roca dura se encontró un terreno de transición, especie de granito descompuesto, en el cual no podían penetrar más que las puntas de las rosas.

Al querer proseguir la hinca en este terreno ocurrieron varias averías, habiéndose roto tres manguitos y dos cubos de rosas (hay que tener en cuenta que se hincaron 262 pilotes). La rotura de los manguitos fué fácilmente remediable, colocando otro por medio de un buzo. En cambio, la rotura del cubo de la rosca no tenía remedio, porque quedando el pilote sin unión

con la rosca, giraba libremente y no era posible extraerla. Pero como cuando esto ocurre está ya la rosca empotrada en el terreno duro, puede dejarse el pilote apoyado sencillamente sobre la rosca. En Vigo, cuando esto ocurrió, se sometieron estas roscas á cargas verticales de prueba adicionales de tres y hasta cuatro toneladas, sin que se notara el menor descenso.

En el pilote núm. 8 del puente nuevo de Verona hubo que extraerlo varias veces y romper las piedras que impedían la hinca con sondas de acero; se probó después golpeando el pilote con un martinete, lo que se había previsto al guarnecer los cubos de las roscas con puntas aceradas, mas todo fué inútil.

Finalmente, hubo que extraer de nuevo la hélice y recortar sus alas, y así se logró llevarlo hasta 3^m,27, pero con la ayuda del martinete.

También en el pilote núm. 11 ocurrieron varios incidentes.

Detenido el pilote, se rompió por fin el fondo con la punta; pero al proseguir la hinca, se rompió de pronto la rosca á 1^m,77 de hinca. Se hacía necesario extraer la rosca; para ello se construyó una ataguía, que, agotada, permitió excavar el emplazamiento hasta 1^m,80, lográndose extraer la hélice rota. Se observó entonces que el obstáculo que había detenido la hinca era un pilote del puente antiguo allí enterrado, que se trató de extraer, pero no fué posible, haciéndose necesario recortar la hélice de un nuevo pilote.

Disminuído el diámetro de la rosca, pudo hacerse penetrar hasta 2^m,85; pero como al llegar á esta profundidad se encontró una extraordinaria resistencia, se prefirió detener la hinca al peligro de romper de nuevo la rosca, pero tomándose la precaución de llenar la excavación que se había hecho para extraer la primera rosca con hormigón hidráulico enrasado con el lecho del río.

Es singular el caso ocurrido al pilote núm. 25 del puente de Zevio, el cual en nueve minutos penetró 3^m,54. Pero llegado aquí, encontró sin duda una piedra gruesa contra la cual la hélice se apoyaba; así es que, en lugar de seguir bajando, subió 4 centímetros; luego volvió á descender, después se alzó de nuevo, repitiéndose esto durante tres rotaciones completas del cabrestante, que se efectuaron sin esfuerzo alguno.

Suspendida la operación, se reanudó á los cuatro días, y en 40 rotaciones completas, con sólo 12 hombres, continuó el pi-

lote subiendo y bajando los mismos 4 centímetros. Se cargó entonces con un peso de una tonelada, luego de dos toneladas, y después de estar dándole vueltas más de una hora, no se observó resultado alguno. Fué preciso suspender definitivamente la hinca, y para asegurar el pilote se hincaron al rededor del de hierro otros 4 de alerce, que llegaron á 4^m,50 de profundidad.

Del conjunto de las observaciones hechas en este puente se desprende que, en terrenos en que abundan los cantos gruesos, es preferible reducir el diámetro de la hélice á 0^m,50 ó 0^m,60, aun á trueque de aumentar el número de pilotes. Conviene también aumentar el paso de la hélice y proveer la rosca de una punta aguda de acero que facilite la penetración, pues como suelen ser terrenos de acarreo, fácilmente socavables en grandes avenidas, débese procurar una hinca profunda, asegurada contra cualquier socavación.

También en la hinca de los pilotes del muelle de Villagarcía, que se ejecutó por administración, estando al frente de las obras el ayudante D. Pedro Velasco, ocurrieron incidentes dignos de mención. La profundidad media de hinca fué de 5^m,50. El terreno que se atravesó estaba formado por tres capas: una de fango ó arena móvil de un metro, que los pilotes atravesaban por su propio peso; otra compuesta en su mayor parte de canto rodado y de 2 metros de espesor, que si bien no opuso mucha resistencia, detenía á intervalos la penetración, hasta que la mayor tensión del cabo vencía el obstáculo, y otra tercera capa que tenía de 2 á 3 metros, compuesta de arcilla dura y granito descompuesto, en la que descendía el pilote con dificultad; debajo de esta capa estaba la roca dura, sobre la que descansaba el pilote.

En una de las palizadas del centro los 3 pilotes que la componían se negaron á penetrar más, faltando aún unos 2 metros de hinca, pero con la particularidad de que el simple esfuerzo del brazo de un hombre los hacía girar en uno y otro sentido. Suponiendo entonces que se habían roto las hélices, razón por la que no mordían en el terreno, se trató de arrancar los pilotes suspendiéndolos con la grúa, pero no pudo conseguirse aun con un esfuerzo de tres toneladas.

Se pensó entonces auxiliar la hinca por percusión sometiendo el pilote á una andanada de 100 golpes con una maza de 200 kilogramos desde unos 2 metros de altura, con lo que se hizo

penetrar 4 centímetros; pero al templar el cabo del cabrestante para proseguir la hinca por rotación dió un salto, subiendo á la altura primitiva. Volvióse entonces á darle otra andanada de 100 golpes y se cargó la cabeza del pilote con dos toneladas, lográndose así el descenso definitivo del pilote, si bien con una tensión muy grande del cable.

Por el mismo procedimiento se llegaron á hincar los otros dos pilotes de la misma palizada á la profundidad necesaria para enrasar con los de las demás palizadas.

Lo que probablemente ocurrió es que en aquel emplazamiento la arcilla, que constituye la última capa, era muy plástica, adhiriéndose á la rosca, formando un tambor de arcilla que giraba sin dificultad dentro de su cavidad, hasta que la penetración por el martinete y la carga sobre la cabeza permitieron á las hélices morder de nuevo en el terreno.

En las obras del muelle de la Junta de obras del puerto de Huelva surgieron algunas dificultades que deben citarse.

Una de las palizadas del puente de acceso se rompió al ocurrir un hundimiento producido por el peso del terraplén de avenidas. Hubo que extraer los tubos rotos, presentándose el problema en uno de ellos de tener que descender de 4^m,50 á 4^m,60 por debajo de la bajamar para encontrar la brida próxima inferior á la rotura. Dada la impermeabilidad del terreno y la gran cohesión de sus moléculas, se empleó como ataguía, para practicar la excavación necesaria, la chimenea de un vapor perdido en la barra. Presentada en el terreno y sujeta convenientemente, excavaba un hombre en el interior y se hundía por su propio peso, extrayéndose los productos con un cubo y una polea. En tres mareas se llegó á la brida inferior á la rotura y se empalmó un nuevo tubo. En el otro pilote, roto á menor profundidad, bastó una ataguía de arcilla, siendo las agotamientos insignificantes.

Al querer hacer la experiencia de hincar por rotación un pilote de madera de 15 metros de longitud, guarnecido de un helizoide de fundición, se vió que la madera no pudo resistir los esfuerzos de torsión, habiéndose retorcido y separado todas las fibras del vástago de 0^m,33 de escuadría antes de llegar á 3 metros de hinca. Se procedió entonces á la extracción del pilote, para lo que fué preciso unirlo á dos ganguiles, capaces de un esfuerzo sin pasar la línea de flotación en carga de 180 tonela-

das. Aprovechando el poder de flotación de la marea pudo extraerse el pilote, pero uno de los ganguiles llegó á sumergirse hasta la borda antes que el helizoide rompiera la cohesión del terreno.

En las obras de primera ampliación se encontraron varias bolsadas de arena en la masa de légamo que constituye aquella ría, y para que los pilotes pudieran penetrar fué necesario cargarlos con carriles y lingotes, cuyo peso llegó en alguno de ellos á ocho toneladas, á pesar de lo cual sólo se conseguía que los pilotes entrasen 2 ó 3 centímetros por vuelta.

Las dificultades aumentaron al querer hincar los pilotes de la segunda ampliación de este muelle, por aumentar el espesor y el ancho de la capa de arena, pues el gran diámetro de las hélices y su pequeño paso impedían la penetración, aun cargando extraordinariamente los pilotes.

Entonces se pensó en auxiliar la hınca removiéndolo el terreno por la inyección de agua comprimida en el interior de los tubos; pero estas interesantes operaciones merecen párrafo aparte, y las describiremos en el § 8.

§ 7.—Medios auxiliares que facilitan la hınca por rotación.

Con martinetes.—Ya hemos visto que en gran número de puentes construidos en Italia, en que el lecho del río contenía gruesos cantos que se oponen á la penetración, ha sido necesario ayudar el movimiento de rotación de los pilotes de rosca por medio de golpes de martinete, que merced á las puntas aceradas con que se proveían las roscas rompían las piedras y permitían continuar la penetración.

Así se hizo en el puente nuevo de Verona, y sobre todo en el de Zevio, en el que se empleó un mazo de 300 kilogramos, ayudando la hınca con dos andanadas de golpes de martinete de 70 golpes cada una. En el puente Garibaldi, en Verona, el mazo pesaba 400 kilogramos.

En el puente sobre el Adige, en Pescantino, se empleó aún un martinete de más peso, de 450 kilogramos. De este modo se logró hincar los pilotes en el alveo del río, que estaba constituido por guijo, á profundidades comprendidas entre 4^m,55 y 6^m,15; la rotación se efectuaba además con 24 hombres, empujando los ocho brazos de un cabrestante de 6 metros de diámetro.

Ya hemos visto en el párrafo anterior cómo fué menester, en el muelle de Villagarcía, auxiliar la hincada de algunos pilotes con andanadas de martinete de 200 kilogramos, y cargarlos

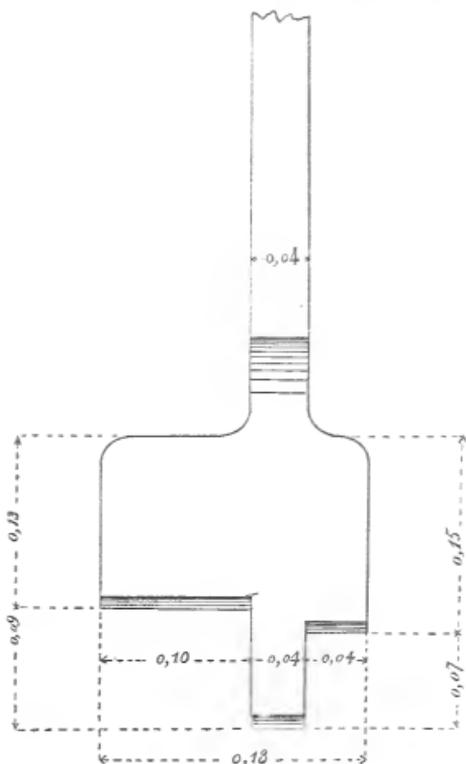


Fig. 57.

además en la cabeza, y también en el muelle de Huelva se cargaron algunos pilotes con 4 y 8 toneladas de lingotes y carriles.

Se ve, pues, que, cuando los pilotes son de hierro dulce y las puntas están aceradas, puede auxiliarse la penetración con el auxilio del martinete, que permite á veces perforar algunas capas duras ó romper algún obstáculo imprevisto.

Con trépano.—En el puente de Vouneuil-sur-Vienne, el ingeniero Mr. Grange ha empleado con éxito los trépanos para perforar un pequeño banco de arenisca de 0^m,16 á 0^m,18 de espesor que se presentó, impidiendo la penetración de los pilotes, cuyas roscas no agarraban y daban vueltas sin avanzar más.

El trépano empleado tenía la forma representada por la figura 37, á fin de obtener un taladro de 0^m,24 de diámetro, suficiente para que pudiera prender la punta de la rosca y continuar avanzando.

Mientras un operario golpeaba con un mazo de hierro la cabeza del trépano, cuatro peones le imprimían un movimiento giratorio por medio de dos grandes llaves.

Cuando se había así practicado una abertura de 0^m,24, se colocaba en ella la punta de la rosca, y empujando con fuerza los brazos del cabrestante, no tardaba en romperse la capa de arenisca, prosiguiendo la hínca sin dificultad. En el momento en que se rompía la capa se oía muy distintamente, y aun á cierta distancia del pilote, una detonación sorda.

También se empleó el trépano para taladrar un grueso bloque errático que impedía la hínca de otro pilote, y que no pudo romperse con un barreno de hierro de 0^m,10 de diámetro con punta acerada y bien templado. Después de abrir un barreno en el bloque se introdujo en él una cartucho de dinamita, que lo deshizo, obteniéndose así el efecto deseado.

Por inyección de agua.—En América y en los muelles de Huelva se ha empleado otro procedimiento.

En el caso en que el rozamiento ó compresión que se desarrolla sobre la rosca del pilote oponga á su hínca una resistencia difícilmente superable, se facilita el trabajo llevando un chorro de agua á gran presión sobre la superficie superior de la hélice.

En la hínca de los pilotes del puente de Lewes se rompieron varias roscas, y habiéndose extraído se observó que tenían la superficie superior perfectamente pulida, lo que evidenciaba el gran rozamiento que á grandes profundidades ejercía el cono de terreno superpuesto. Se aplicó entonces un chorro de agua sobre la superficie superior de la rosca, obteniéndose así una reducción de resistencia de 93 por 100, según se comprobó con el dinamómetro.

Se empleó para ello una bomba ordinaria, movida por 4 hom-

bres, que lanzaba el agua por medio de un tubo de goma, que se bifurcaba en dos tubos de 25 milímetros de ancho, como los del gas, y que esparcían el chorro con bastante uniformidad sobre la rosca del pilote.

El mismo procedimiento hubo que aplicar en la hinca de los pilotes para el muelle de Delaware, en cuya obra, á pesar de las 4 mulas empleadas en el cabrestante, se observaron las mismas dificultades que en el puente de Lewes, rompiéndose también varias roscas.

Dirigiendo entonces un chorro de agua sobre la cara superior de las hélices por medio de un tubo de 31 milímetros se obtuvo un excelente resultado, pudiéndose terminar la hinca sin dificultad alguna.

La inyección de un potente chorro de agua dentro de los tubos con hélices (lám. XVII, fig. 4), que constituyen el cimientado del muelle de Huelva, permitió atravesar una fuerte capa de arena que, por su dureza, se oponía á la penetración de pilotes de diámetro tan considerable.

Se adquirió para ello una bomba de vapor que trabajaba á 6 atmósferas con 72 pulsaciones por minuto, que inyectaba el agua dentro de una tubería de unos 0^m.10 de diámetro.

Se tenía la longitud suficiente de tubería de impelencia y gran número de codillos para colocar la bomba de 20 á 40 metros del andamio donde se efectuaba la hinca, y además varios trozos de manguera de goma con espiral de hierro interior y exterior que se empalmaban á la tubería con simples tuercas y que permitían alcanzar el pilote que se trataba de hincar, uniéndose entonces á un codillo horizontal de la lanza de salida del agua.

Esta lanza era un tubo de unos 0^m.04 de diámetro, que tenía toda la longitud del pilote más la del tubo maestro de hincado (véase § 4), y que se introducía dentro del pilote, sobresaliendo unos 40 á 80 centímetros por debajo de la hélice, sujetándose con una mordaza que permitía el giro del tubo.

Los resultados obtenidos después de los inevitables tanteos de los primeros días fueron muy satisfactorios. Los pilotes, que antes ni giraban ni descendían en cuanto habían penetrado en la arena, se hincaban con suma facilidad inyectando *debajo* de las hélices agua comprimida, que deshacía el terreno y disminuía la adherencia y el rozamiento entre la hélice y la arena, sa-

liendo el agua mezclada con arena por el espacio anular comprendido entre el tubo y la lanza.

Generalmente, en terreno duro de arena fangosa, á cada vuelta completa de cabrestante, movido por 8 hombres, se obtenía un descenso de 8 á 12 centímetros (siendo de 15 el paso de la hélice). Estos números variaban, llegando á veces á descender á 3 centímetros y aun menos. En este caso se paraba la hınca, se alargaba un poco la lanza para que penetrase más en el terreno y se inyectaba agua hasta que se desagregaba bien la capa inferior. Puesto otra vez en movimiento el cabrestante, los descensos volvían á ser de 10 y aun más centímetros.

Quando se llegaba á unos 0^m,60 de la posición final de la hélice, se suspendía la inyección y se hincaba á viva fuerza, para tener seguridad de que el terreno no quedaba socavado.

En terreno fangoso, los operarios hincaban sin dificultad los pilotes; pero era tal la ventaja de emplear la inyección de agua, que siempre se procuraba usarla al mismo tiempo, con economía considerable en la mano de obra, por la rapidez con que se hacía entonces la hınca. En este caso, pilotes que entraban á 8 centímetros por vuelta llegaban á 15 y aun á 20 inyectando agua, y el giro se efectuaba con más rapidez y exigiendo menos fuerza.

Se llegó de esta manera á hincar un pilote diario, comprendiendo todas las operaciones, incluso todas las enmiendas y adiciones de trozos de tubos, que eran las que más tiempo absorbían.

El empleo de la inyección de agua introdujo así una economía importantísima en la hınca, y permitió efectuarla tal como estaba proyectada, lo que hubiera sido imposible sin este poderoso auxiliar.

Por último, ha permitido la inyección efectuar fácilmente la operación de extraer algunas hélices rotas en el muelle de Huelva por medio del aparato dragador que describimos en el párrafo siguiente, é imaginado por el joven ingeniero de caminos D. José Albelda, que á las órdenes del ingeniero director de la Junta de obras del puerto de Huelva, D. Luis María Molini, ha tomado parte en la construcción de esta interesante obra.

§ 8.—Hinca por inyección de agua de los pilotes de plataforma y ordinarios y aparato dragador.

Acabamos de ver cómo se ha facilitado la hinca por rotación de los pilotes de rosca, inyectando sobre la cara superior de las hélices ó dentro de los tubos un chorro de agua.

Si esta inyección se efectúa con más potencia y por debajo de los discos de los pilotes de plataforma, que hemos descrito en el capítulo IX, se pueden hacer penetrar éstos á grandes profundidades cuando el terreno es de arena ó fangoso.

Este procedimiento fué imaginado por el ingeniero inglés Brunlees, para hincar en los bancos de arena de la bahía de Marecombe los pilotes de plataforma de los dos viaductos de Kent y Leven, descritos en el capítulo V.

Se procedió de la siguiente manera:

En el tubo del pilote (lám. XVIII, fig. 1) se introdujo otro tubo de hierro dulce de 50 milímetros de diámetro, que se comunicaba con una bomba movida por una maquina de vapor de seis caballos y sobresalía 0^m.60 por debajo del disco.

Presentado el pilote y bien fijado á dos barcazas, con sus guías correspondientes, se inyectaba debajo del disco una fuerte corriente de agua, á la par que se hacía girar el pilote en uno y otro sentido.

El agua inyectada daba á la arena una gran fluidez; los nervios del disco, que se movían alternativamente en uno y otro sentido, removían el fondo y el pilote iba descendiendo.

De este modo se obtuvo una hinca de 2 metros en veinte minutos, lo que evidencía el buen resultado del sistema.

Con pequeñas modificaciones en este procedimiento se ha aplicado la inyección de agua en otras muchas obras, entre otras en el puente de Tay (Escocia).

La acción de un potente chorro de agua facilita también extraordinariamente la hinca de los pilotes de madera; el procedimiento más usual consiste en fijar á lo largo del pilote un tubo, por medio del cual se hace afluir un chorro continuo de agua á su extremidad.

Durante la guerra civil americana, el barco *Glenn* cerró la bahía de Mobile con diez pilotes, que se hincaron con una bomba inyectora de vapor. El tubo de la bomba, que tenía una longitud

de 16 metros, comunicaba con otro tubo, cuya extremidad tenía un diámetro de 30 milímetros y estaba fijada en la punta del pilote con dos grapas.

Terminada la hinca de cada pilote, que descendían con una velocidad de 0^m,30 por segundo, se sacaba el tubo de la bomba para aplicarlo á otro pilote.

En las obras del puerto de Calais, fundadas sobre arenas finas sacavables, el ingeniero Mr. de la Brosse facilitó extraordinariamente la hinca de los pilotes de madera, que constituían el cimiento, inyectando por medio de una bomba de incendios movida á brazo una corriente continua.

Dos tubos de goma salían de esta bomba, pasaban sobre poleas establecidas en los montantes de una machina y bajaban verticalmente, terminando por dos tubos de hierro de 25 á 35 milímetros de diámetro, que se colocaban uno delante y otro detrás del pilote, sobre cuya cabeza se hacía pesar el mazo del martinete. Se imprimía al pilote, á brazo, un movimiento continuo de arriba abajo y un ligero movimiento lateral, de modo á mantener una corriente continua al rededor del pilote y á suprimir el rozamiento por el desleimiento de la arena, pues se observó que los efectos obtenidos se debían al establecimiento de una corriente continua á lo largo de los pilotes más bien que á la presión del agua.

Hinca por el vacío.—Se ha ensayado también la hinca de los pilotes huecos de fundición haciendo el vacío en el interior. La parte superior se cerraba hermeticamente, y un tubo torneado en la tapa ponía bruscamente en comunicación el interior del tubo con un gran depósito en el que se había hecho el vacío.

En ciertos terrenos el pilote podría hincarse así por sacudidas, pero su descenso sería irregular y su estabilidad poco segura. No parece este sistema haberse empleado prácticamente.

Tampoco se ha generalizado el sistema de pilotes de plataforma hincados por inyección de agua, que requiere un suelo de arena fina y homogénea.

Aparato dragador por inyección de agua (lám. XXIX, figs. 7 á 10).—Ya hemos dicho que en la hinca de los tubos del muelle de Huelva ocurrieron algunas roturas de tubos, quedando las hélices enterradas á grandes profundidades, que era preciso em-

palmar con nuevos tubos y con rapidez para no retrasar la prosecución de la obra.

En las obras de la segunda ampliación de aquel muelle, en que la altura de agua era considerable y el fondo bastante duro, no podía pensarse en emplear el procedimiento descrito en el § 7, agotando dentro de una ataguía.

El ingeniero Sr. Albelda pensó entonces auxiliar esta operación, facilitando el trabajo de un buzo, desagregando el terreno con una inyección de agua. Imaginó al efecto el aparato dragador representado en la lámina XXIX, que funcionó con gran éxito á pesar de su sencillez y economía, y que se comprende con la simple inspección de las figuras.

El aparato se sostiene colgado del andamio con un juego de polipastos, que sirven para variar la profundidad á que se ataca el terreno.

Inyectando agua y dejando caer el aparato, se hunde su extremo en la arena ó en el fango, se desagrega el fondo y sube el agua inyectada, cargada de detritus, por el espacio anular hasta verterse por el tubo horizontal.

Un buzo que excavaba el terreno protegido por unos anillos de palastro de 2 metros de diámetro extraía los productos que no salían por el tubo con un cubo, y de este modo se alcanzaban muy rápidamente las hélices perdidas, que volvían á empalmarse con nuevos tubos.

No cabe dudar que este aparato, modificado según los casos, puede prestar excelentes servicios, y su aplicación honra al ingeniero que lo imaginó, al que damos las gracias por los muy completos é interesantes datos que nos ha proporcionado sobre todos los muelles construidos en Huelva y en la Rábida, y de los que sólo hemos podido extractar una pequeña parte para no alargar por demás este libro, ya demasiado prolijo.

§ 9.—Hinca por percusión de los pilotes de hélice sistema Pozzi.

Como habíamos dicho ya al describir este sistema de pilotes (capítulos IX y XI), la gran inclinación de las hélices permite y obliga á efectuar la hinca por *percusión*, del mismo modo que se procede con los pilotes ordinarios; la rotación se produce naturalmente y obligada por la disposición helicoidal de los nervios.

Se emplean para esta hinca los mismos martinetes que para pilotes de madera, y como para éstos hay que armonizar el peso del mazo y la altura de caída según los casos. El ingeniero Mr. Pozzi ha empleado generalmente mazos de 600 kilogramos, con alturas de caída variando entre 1 y 2,50 metros.

Los pilotes se hincan generalmente á profundidades de 3 á 4,50 metros, y la penetración al final de la hinca varía de 5 á 20 milímetros. Las cargas correspondientes á cada pilote oscilan entre 15 y 35 toneladas, y las presiones determinadas por los golpes de mazo de 30 á 125.

Ha observado, por último, Mr. Pozzi que la rotación de los pilotes es siempre proporcional á la penetración de las hélices y perfectamente regular.

El mazo de 600 kilogramos empleado se maniobró con 4 hombres en el torno y un capataz para dirigir, vigilar y soltar el escape de la machina; pero es evidente que si el número de pilotes necesarios en una obra fuese considerable y pasara de 150, por ejemplo, se podría emplear con éxito cualquier sistema de martinete de vapor, como, por ejemplo, el mazo automotor sistema Lacour (1).

Cualquiera que sea el sistema de martinete empleado, para evitar el aplastamiento ó la deformación de la extremidad superior del pilote, se debe aplicar un capitel de hierro dulce que abrace el pilote como una pulsera en una cierta altura. Durante la hinca, y para que los choques sean menos instantáneos y evitar ese mismo aplastamiento del hierro ó agrietamiento en la fundición (cuando el choque no tiene tiempo de propagarse hasta la punta del pilote), conviene también interponer entre el capitel y el mazo tablones de madera dura.

En el caso en que se empleen pilotes muy largos se puede además adoptar la precaución de introducir en el tubo de fundición un alma ó falso pilote de madera, que amortiguará el efecto de los golpes violentos repartiéndolo en todo el pilote. Este alma se retira después de efectuada la hinca y se rellena el pilote con hormigón fino.

(1) Este martinete de vapor, empleado para la hinca de los pilotes en los cimientos de la torre Eiffel y de la galería de máquinas de París, cuya sencillez y economía lo hacen muy recomendable, se describe detalladamente en el *Curso de construcción* de la Escuela central de París, por el ingeniero Mr. Oslet.

Aunque la disposición simétrica de las hélices contribuye á asegurar la invariabilidad del pilote durante la hinca, conviene dirigirla con gufas, sobre todo al principio de la operación.

A propósito de esto, nos asegura Mr. Pozzi que, en la construcción de la palizada del puente sobre el río Olona, los pilotes pareados, con hélices de 0^m,40 de diámetro, tenían que hincarse á una distancia de 0^m,50 de eje á eje, y á pesar de esta extraordinaria proximidad no han experimentado ningún desplazamiento lateral.

Este hecho merece consignarse.

Con esto damos por terminado nuestro trabajo, y sólo nos resta resumir cuanto hemos visto y estudiado sobre esta interesante materia.

CONCLUSIONES

El examen de todas las obras descritas en el presente libro permite deducir las siguientes conclusiones:

1.^a El empleo de los pilotes metálicos, aunque no tan generalizado como debiera, ha sido preconizado por eminentes ingenieros y constructores, que lo han aplicado *siempre con éxito* para toda clase de puentes, muelles y fardos.

2.^a Pueden emplearse los pilotes metálicos *en toda clase de terrenos*, desde los fangos semifluidos hasta las rocas más duras, merced á la multiplicidad de disposiciones y tipos que pueden adoptarse.

3.^a Las palizadas ó pilas construídas con pilotes metálicos son tan *duraderas, estables y resistentes* como los tramos que sostienen.

4.^a Para alturas de rasantes inferiores á 20 metros *no cabe disposición de puente más económica* que la de tramos metálicos rectos, sobre palizadas también metálicas, pues el costo de los puentes construídos por este sistema varía (según claramente se desprende de los anexos 2 y 3):

Para ferrocarriles de ancho normal, de 400 á 600 pesetas por metro lineal.

Para ferrocarriles de vía estrecha, de 200 á 400 pesetas por metro lineal.

Para carreteras, de 100 á 200 pesetas por metro superficial; es decir, de 600 á 1.200 pesetas por metro lineal para puentes con un ancho de 6 metros.

5.^a La disposición de palizadas que resulta más económica, estable y resistente es la de pirámides de hierro laminado sobre pilotes-tubos de fundición.

6.^a Asimismo, el costo del metro cuadrado de muelle-embarcadero construido sobre pilotes metálicos varía de 150 á 250 pesetas.

7.^a El empleo de los pilotes metálicos permite también construir con economía y rapidez los faros y demás señales marítimas, y por último facilita la fundación de obras de fábrica, sustituyendo con ventaja á los pilotes de madera.

8.^a Considerando este sistema de construcción desde el punto de vista estético, no hemos de pretender que resultan hermosos tales entramados metálicos, pero tampoco admitimos que les superen en belleza, por ejemplo, los demás sistemas de puentes de hierro (exceptuando algunos tipos de arco inferior), pues que las grandes vigas rectas ó parabólicas que se emplean para luces considerables, entre cuyas mallas pasa la vía como enjaulada, no podrán nunca satisfacer á la vista. Por el contrario, los puentes sobre palizadas, con piso superior y andenes en voladizo, presentan buen aspecto, ó por lo menos ese efecto nos han producido los que hemos visto en poblaciones tan cultas y artísticas como Florencia, Verona y Ginebra.

9.^a En todos aquellos puntos donde se ha ensayado el sistema se han repetido sus aplicaciones, y esta es la mejor prueba de sus excelentes resultados. Díganlo si no los cuatro puentes construidos sucesivamente en Verona (á pesar de que el primero fué destruido por una crecida), los tres puentes de Ginebra, los cinco embarcaderos gallegos y los cuatro muelles de Huelva.

Si conseguimos llevar estas convicciones al ánimo de nuestros compañeros y colegas, y contribuimos así á la generalización de los sistemas de construcción económicos, obtendremos un premio muy superior al mérito de nuestro trabajo, que, como hemos dicho al comenzar la presente obra, sólo tiene por objeto *ser útil*.

FIN

ANEXOS

ANEXO NÚM. 1

TABLA de los pesos de las superestructuras de puentes metálicos en tramos aislados (tomada de Croizette-Desnoyers).

LUZ MEDIA DE LOS TRAMOS — Mtrs.	PUENTES DE PALASTRO para ferrocarriles.			PUENTES para carreteras.		OBSERVACIONES
	PESO DEL METRO LINEAL.		PESO DEL METRO SUPER- FICIAL	PESO DEL METRO SUPERFICIAL		
	De doble vía.	De simple vía.		Puentes de palastro.	Puentes de fundición	
	Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.	
5	1156	635	144	100	151	<p>a) En lo que se refiere al metro lineal de puentes para ferrocarriles, la relación de los pesos entre las obras de doble vía y las de simple vía es de $\frac{20}{11} = 1.82$, excepto, sin embargo, el caso en que los tramos de las dos vías son independientes, siendo entonces necesariamente la relación de 2 á 1.</p> <p>b) El peso superficial para puentes de ferrocarriles se deduce del peso del metro lineal, dividiendo por 8 el del puente de doble vía y por 4.40 el del puente de vía sencilla.</p> <p>c) No se han consignado los pesos de los puentes de fundición para ferrocarriles, porque los ejemplos son poco numerosos y presentan además muchas anomalías.</p> <p>d) No se han consignado los pesos por metro lineal de los puentes para carreteras, porque los anchos son excesivamente variables.</p> <p>e) Las luces consignadas se han medido entre paramentos de pilas, en lugar de medirse entre eje y eje de apoyos.</p> <p>f) El metro lineal y el metro superficial se aplican á la longitud total de la super-estructura.</p>
10	1425	783	178	121	179	
15	1716	943	214	144	209	
20	2029	1115	253	169	240	
25	2359	1296	295	197	274	
30	2703	1485	337	226	308	
35	3061	1682	382	257	344	
40	3429	1884	428	289	381	
45	3807	2092	475	322	419	
50	4195	2305	524	356	458	
55	4590	2522	573	391	497	
60	4990	2742	623	427	537	
65	5396	2965	674	463	578	
70	5808	3191	725	500	618	
75	6224	3420	777	537	660	
80	6643	3651	830	575	702	
85	7063	3881	882	613	744	
90	7491	4116	935	652	786	
95	7919	4351	989	691	828	
100	8350	4588	1043	730	871	
105	8783	4826	1097	769	914	
110	9218	5065	1151	809	958	
115	9657	5306	1206	»	»	
120	10095	5547	1261	»	»	
125	10536	5789	1316	»	»	
130	10976	6031	1371	»	»	
135	11422	6276	1426	»	»	
140	11864	6519	1481	»	»	
145	12310	6764	1537	»	»	
150	12756	7009	1593	»	»	
155	13204	7255	1649	»	»	
160	13652	7501	1705	»	»	

NOTA. — Cuando se trate de un puente de tramos continuos, deben reducirse los pesos consignados en la tabla en la proporción aproximada de $\frac{1}{40}$.

PESOS de varios puentes sobre paliza

	SAIGÓN (Cochinchina)	SANTAREM (Portugal)	MARATECA (Portugal)	AZAMBÚJA (Portugal) (*)	ALEARDI (Verona Italia)	ZEVIO (Italia) (*)	
Longitud de los tramos (metros)	6 tr. de 15	58 tr. de 15	5 tr. de 22,5 2 tr. de 18,6	2 tr. de 50,7 1 tr. de 15,0 2 tr. de 6,5	5 tr. de 20,0 2 tr. de 16,8	7 tr. de 24 4 tr. de 20	
Longitud total del puente (metros)	90,00	570,00	104,70	89,40	95,60	254,40	
Altura media de la rasante sobre el extremo de los pilotes (metros)	15,00	16,00	10,00	22,00	15,00	11,00	
Peso de las palizadas (kilogramos)	Hierro dulce.	1.000	74.000	4.200	11.500	57.250	"
	Fundición	41.000	545.000	44.000	115.000	5.908	"
	Total	42.000	519.000	48.200	126.500	61.167	"
Peso de los tramos (kilogramos)	Hierro dulce.	154.000	681.000	140.000	125.000	152.786	"
	Fundición	"	"	1.500	1.800	"	"
	Total	154.000	681.000	141.500	126.800	152.786	"
Peso del hierro dulce por m ² de tramo.	$\frac{1.711}{6} = 285$	$\frac{1.194}{6} = 199$	$\frac{156}{075} = 200$	$\frac{1.598}{5,7} = 280$	$\frac{1.598}{9} = 177$	"	
Peso total del puente (incluso palizadas)	196.000	1.500.000	189.700	253.500	213.935	506.500	
Peso por metro lineal	2.177	2.280	1.818	2.835	2.238	1.204	
Peso por metro superficial	565	750	269	527	249	252	
Pruebas estáticas (kilog. por m ²)	"	"	400	500	400	400	
Pruebas dinámicas (toneladas)	2 ^o	2 ^o	1 carro de 12	1 carro de 16	En andenes y 2 máqs. de 14	En andenes y 2 máqs. de 14	

Nota.—Los puentes señalados con una (*) tienen sus estribos extremos constituidos también

NÚM. 2

das y pilotes metálicos para carreteras.

ALBAREDO (Italia) (*)	UROLA (España)	IRUBIDE (España)	RIO de las Piedras (España)	RIA del Burgo (Cornúa) (España)	MUELLE de la Rábida (España)	RIVADESELLA (España)
5 tr. de 32	2 tr. de 19,8	1 tr. de 12,8	5 tr. de 21,6	14 tr. de 15	Un tr. de 9	6 tr. de 19,10
2 tr. de 31	5 tr. de 26,8	2 tr. de 9,2	2 tr. de 17,5			12 tr. de 15,75
224,00	119,40	51,50	166,00	209,00	"	305,60
"	15,50	12,00	8,50	17,40	"	12,26
91.121	"	"	17.610	156.077	584	80.176
14.926	"	"	60.074	19.202	5.140	88.168
105.617	"	"	77.684	155.229	5.324	Acero, 11.688 185.02
15.206	"	"	9.710	11.248	5.524	10.766
21.322	"	"	104.047	513.849	5.001	484.431
1.627	"	"	"	508	590	11.491
248.949	"	"	104.047	514.157	5.391	495.922
$\frac{1.090}{5,66} = 192$	"	"	$\frac{712}{4,5} = 158$	$\frac{1.500}{6} = 250$	$\frac{599}{5} = 119$	$\frac{1.600}{7} = 228$
354.507	277.000	55.000	181.731	469.486	40.915	678.954
1.585	2.289	1.718	1.258	2.246	1.212	2.256
279	511	255	275	574	262	519
400	500	500	400	500	"	500
2 carros de 11	"	"	"	2 carros de 12	"	2 carros de 12

por palizadas metálicas.

ANEXO NÚM. 5
 PESOS de varios puentes sobre palizadas y pilotes metálicos para ferrocarriles.

	TAPTEE (India).	L. A. V I Ñ A del Mar (Ghalic).	LA GUÁHRA (Venezuela).	RÍO MUGA (España).	LEZO (Portugal).	MUELLE de Huelva (España).	SISTEMA Ribera.
Ancho de la vía (entre carriles) (me- tros).....	Doble vía	Doble vía	0,914	1,07	1,00	1,67	1,00
Número y longitud de los tramos (metros).....	de 1,50	de 1,67	51 tr de 10	10 tr. de 10	6 tr. de 10	1 tr de 9	1 tr. de 10
Longitud total (metros).	Tr. de 18,30	6 tr de 15	510,00	100,00	60,00	"	"
Altra media de la resante sobre el extremo de los pilotes (metros).	18,00	10,00	10,00	9,00	9,50	14,00	9,00
Peso de las pa- lizadas(kilo- gramos)	"	32,500	199,100	12,968	6,500	294	1 102
Hierro dulce.	"	2,900	76,500	5,760	2,000	7,951	1,465
Fundición.	"	35 400	Veces, 11,000	18,728	8 500	8,245	2 567
Total.	26,550	7,080	280,600				
Peso de cada palizada.	16,900	115,700	5 612	2,080	1,700	8,245	2,567
Hierro dulce.	"	900	268,800	66,621	17,500	2,705	3,750
Fundición.	16,900	116,600	"	"	300	112	500
Total.	2,468	1,285	268,800	66,621	17,800	2,817	4 250
Peso del hierro dulce por metro lineal.	"	152,000	527	666	291	469	425
Peso total del puente, incluso las pa- lizadas.	3,865	1,700	549,400	85,350	26,300	11,062	6,817
Peso por metro lineal.			1,077	853	438	1,843	681

OBRAS CONSULTADAS

REVISTAS PROFESIONALES

Revista de Obras públicas.

1855. Núm. 20.—Pilotes de rosca.
1860. Núms. 10, 11 y 12.—Ideas generales sobre las amarras para las boyas, por el Excmo. Sr. D. Lucio del Valle.
1860. Núm. 22. Nota relativa á la hinca de roscas Mitchell para amarras.
1861. Núms. 10 y 11.—Proyectos de torres de hierro para los faros del Ebro, por el Excmo. Sr. D. Lucio del Valle.
1861. Núm. 15.—Puente de hierro sobre el río Eo, por D. Salustio Regueral.
1870. Núm. 4.—Pilotes con rosca de hierro forjado, por D. J. A. Rebolledo.

Anales de la Construcción y de la Industria.

1876. Núms. 12, 15 y 17.—Muelles embarcaderos de Huelva, por D. Pedro Pérez de la Sala.

Nouvelles annales de la construction, de Oppermann.

- 1855.—Note de Mr. Mitchell sur les pieux à vis.
1860.—Pont de la Viña del Mar (chemin de fer de Santiago á Valparaíso).
1877 (marzo).—Viaduc de La Guaira.
1879.—Pont de Saigon sur l'Avalanche.
1894 (enero).—Puentes del ferrocarril del sur de Francia.

Annales des ponts et chaussées.

- 1850.—Informe del ingeniero Dupuit sobre la caída del puente colgante de la Basse Chaine, en Angers.

Revue universelle des mines et de la metallurgie.

- Tomo XI, 1883, primer semestre, pág. 411.—*Emploi de l'acier dans les constructions*, por Edwig Matheson.

- Tomo XII, 1882, segundo semestre, pág. 608.—*Note sur les procédés Barf Bower*, por el ingeniero Kirsch.

Les Annales industrielles.

- Los faros del Canal de Suez, 1869, láms. 87, 88 y 89.

Giornale del Genio Civile Italiano.

1880, tavola 23.—Puente del ferrocarril de Tarento á Reggio.

Engineering.

Máquina de hincar pilotes, 9 de agosto de 1869.

LIBROS Y FOLLETOS

Corso teorico pratico sulla costruzione dei Ponti metallici. per l'ingegnere doctor Chicchi, tavola 29.

Monografie tecniche. — Ponti in ferro in arco, ponti in ferro a stillate metalliche, etc., Verona, 1885, per l'ingegnere G. B. Biadego.

Pieux metalliques à hélices, par Lauro Pozzi, ingenieur. Milán, 1890

A complete treatise on cast and Wrought iron bridge construction including iron foundations, by William Hunter. segunda edición, Londres, 1864, láminas 36, 37 y 38, Viaducto de Taptee. y láminas 46 á 49. Viaductos de Kent y Leven.

Traité des ponts, por J. Chaix. París, Fauchon et Artus, editeurs, páginas 481 á 489, tomo I.

Cours de construction des ponts, por Mr. Croizette-Desnoyers, tomo I, pág. 392

Traité de la construction des ponts et viaducs, por Mr. Morandiere. París. 1880, página 1822.

Ponts metalliques, por J. Resal, París, 1885, tomo I.

Desastres en los puentes americanos. Memoria presentada por el ingeniero americano Mr. Jorge Thomson en la reunión de la Asociación británica; traducida por el ingeniero J. R. Llata, Barcelona, 1889.

Tratado de las construcciones en el mar, por el inspector D. Pedro Pérez de la Sala, segunda edición, Madrid, 1890, págs. 525 á 530, pinturas.

Señales marítimas, por el inspector D. Pedro Pérez de la Sala, segunda edición.

Memoria de la Junta de obras del puerto de Bilbao, año económico de 1888 á 1889.

Communication sur l'application des ponts portatifs economiques systeme Eiffel en Cochinchine et au Tonkin, por Mr. J. Collin, ingeniero civil. Imprimerie Chaix, París, 1888.

Portefeuille de dessins de l'Ecole des ponts et chaussées.

Les Phares français, por Mr. León Renard, Hachette et Cie., París, 1871.

Etude sur l'emploi des pieux metalliques dans les fondations d'ouvrages d'art, por C. Grange, Baudry et Cie., París, 1892.

Les Chemins de fer en Amerique, por MMr. Lavoüine et Pontzen, tomo I, página 288, París, 1880.

ÍNDICE DE LAS LAMINAS

LÁMINA I.—*Puentes para carreteras.*

- Puentes de Saigón (Cochinchina), de Santarem (Portugal), de Marateca (Portugal) y de Azambuja (Portugal).
- II.—*Puentes para carreteras construidos en Italia.*
Puentes de Verona (Aleardi), de Zevio, de Curtarolo, de Tenca-rola, de Vigonovo y de Strá.
- III.—*Puentes para carreteras construidos en España.*
Puente sobre el río de las Piedras (Huelva). — Puentes de Zumaya sobre el Irubide y el Urola.— Puente del Pasaje, sobre la ría del Burgo (Coruña).
- IV.—*Puentes para ferrocarriles.*
Viaducto de Leven (Inglaterra).—Viaducto de Taptée (India inglesa).— Puente de la Viña del Mar (Chile).—Viaducto de La Guaira (Venezuela).— Puente de Mobile (Estados Unidos).
- V.—*Puentes para ferrocarriles.*
Puente sistema americano.—Puente sobre el río Neto (Italia).— Puente del tranvía de Lezo (Portugal).—Puente sobre el río Muga (Gerona).—Puentes de los ferrocarriles del sur de Francia.
- VI.—*Puentes de sistemas diversos.*
Puente sistema Oppermann.—Puente sistema Eiffel.—Puente sistema Thomas y Foucart.—Puentes sistema Pozzi.
- VII.—*Puentes sistema Ribera.*
Puente de Rivadesella.—Puentes para ferrocarril económico y modelos diversos.
- VIII.—*Muelles y embarcaderos.*
Muelles de Courtown (Irlanda).—Del Delaware (Estados Unidos).—De la Turquía asiática.—Del Congo.—De Valparaíso.
- IX.—*Muelles y embarcaderos en España.*
Muelles de la Coruña, Puntales (Cádiz), Mayagüez (Puerto Rico) y Villagarcía (Pontevedra).
- X.—*Muelles y embarcaderos en España.*
Dique de Portugalete (Bilbao).—Muelle de Bayona (Pontevedra).—Muelle de Vigo (Pontevedra).—De la Rábida (Huelva).
- XI.—*Muelles de Huelva.*
- XII.—*Faros sobre pilotes de roca.*
Faros de Spit-Bank y Maplin-Sand (Inglaterra).—De Walde (Francia).—De Minot's Ledge (Estados Unidos).—De Bishop's Rock (Inglaterra).

- LÁMINA XIII.—*Faros construidos en España.*
 Faros de la Baña.—El Fangar.—Portugaleta y Buda.
- XIV.—*Modelos de roscas de fundición.*
 - XV.—*Modelos de pilotes de hierro dulce.*
 - XVI.—*Modelos de pilotes-tubos de fundición con roscas cónicas.*
 - XVII.—*Modelos de tubos cilindricos con hélices.*
 - XVIII.—*Modelos de pilotes de patin ó plataforma y de hélice sistema Pozzi.*
 - XIX.—*Detalles de los puentes de Marateca y de Zetio.*
 - XX.—*Detalles del puente de Azambuja.*
 - XXI.—*Detalles de los puentes de Zumaya.*
 - XXII.—*Detalles de los puentes de Leza y de Muga.*
 - XXIII.—*Detalles de los tramos del puente de Rivadesella.*
 - XXIV.—*Detalles de las palizadas del puente de Rivadesella.*
 - XXV.—*Detalles del puente para ferrocarriles económicos sistema Riberá.*
 - XXVI.—*Detalles de los muelles de Mayagüez, Bilbao y Bayona.*
 - XXVII.—*Detalles de los muelles de Vigo, La Rábida y Huelva.*
 - XXVIII.—*Hinca de roscas y pilotes.*
 - XXIX.—*Andamios y aparato dragador.*
 - XXX.—*Andamios para la hinca de pilotes de rosca.*
 - XXXI.—*Cabrestantes para la hinca de pilotes de rosca.*
-

ÍNDICE DEL TEXTO

DEDICATORIA..	1
A MIS COMPAÑEROS..	3

CAPÍTULO PRIMERO

INCONVENIENTES DE LOS SISTEMAS DE FUNDACIÓN GENERALMENTE EMPLEADOS

Condiciones generales topográficas y geológicas de los terrenos para el paso de los ríos.—Fundaciones por agotamiento.—Por dragado.—Sobre pilotes.—Por el aire comprimido.—Inconvenientes de estos sistemas, que obligan á reducir el número de apoyos.—Importancia de la reducción de la luz en los puentes metálicos —Necesidad de construir pilas económicas.—Las paliadas sobre pilotes metálicos resuelven esta dificultad.

9-15

CAPÍTULO II

DURACIÓN DE LAS OBRAS METÁLICAS

§ 1.—Causas de las caídas de los puentes de hierro.	17
§ 2.—Efectos de la oxidación de los hierros en las obras metálicas.	20
§ 3.—Pinturas y enlucidos preservadores de la oxidación.	23
§ 4.—Aflojamiento de los roblones.	25
§ 5.—Modificaciones moleculares del metal de los puentes por efecto de las vibraciones.	27
§ 6.—Interferencias y tonalidad de las vibraciones.	28
§ 7.—Conclusiones.	30

CAPÍTULO III

RESEÑA HISTÓRICA DE LOS PILOTES DE ROSCA Y DE SUS MÁS IMPORTANTES APLICACIONES

Invencción de la rosca Mitchell.—Su primera aplicación para amarraz de boyas.—Principales aplicaciones hasta el año 1885 en In-

glaterra y América.—Obras sobre pilotes de rosca construídas en Bélgica, Prusia, Rumania, América, Portugal, Francia, Italia, Suiza y España.	33-39
---	-------

CAPÍTULO IV

PUENTES DE CARRETERAS

Puente de Saigón.—Viaducto de Santarem.—Puente sobre el río Maratca.—Puente sobre el canal Azambuja.—Puente Aleardi, de Verona.—Puente nuevo Aleardi, en Verona.—Puente sobre el Adige, en Zevio.—Puente sobre el Brenta, en Curtarolo.—Puente Garibaldi, en Verona.—Puente Umberto, en Verona.—Puente de Albaredo.—Puente de Pescantino.—Puente sobre el Bacchiglione, en Tencarola.—Puente sobre el Arno, en Florencia.—Puentes sobre el Brenta, en Vigonovo y Strá.—Puentes en Ginebra (Suiza).—Puentes en Rumania.—Puente de Porto, sobre el río Eo (Asturias).—Puente sobre el río de las Piedras (Huelva).—Puentes de Zumaya (Guipúzcoa), sobre los ríos Irubide y Urola.—Puente sobre la ría del Burgo (Coruña).. . . .	41-61
--	-------

CAPÍTULO V

PUENTES PARA FERROCARRILES CONSTRUÍDOS SOBRE PALIZADAS METÁLICAS

Viaductos de Kent y Leven (Inglaterra).—Viaducto de Taptec (India inglesa).—Puente de Königsberg (Prusia).—Puente de la Viña del Mar (Chile).—Viaducto de la Guaira (Venezuela).—Puente de Mobile (Estados Unidos).—Puente sistema americano.—Puente de Lewes (Estados Unidos).—Puente sobre el río Neto para el ferrocarril de Tarento á Reggio (Italia).—Puente Molini, sobre el lago Mantua (Italia).—Puentes en Suiza.—Puente del tranvía de Lezo (Portugal).—Puente sobre el río Muga (Gerona).—Puentes de los ferrocarriles del sur de Francia.	63-78
---	-------

CAPÍTULO VI

PUENTES DE SISTEMAS DIVERSOS

Puente sistema Oppermann.—Puente sistema Eiffel.—Puentes sistema Thomas y Foucart.—Puentes sistema Pozzi.	79-84
Puente de Rivadesella.—Naturaleza del subsuelo.—Soluciones posibles.—Disposición de los tramos.—Disposición de las paliza-	

ÍNDICE DEL TEXTO

261

das.—Pesos.—Distribución de luces.—Descripción de la superestructura.	84-90
Puente para ferrocarriles económicos, sistema Ribera.	91
Aplicaciones de nuestro sistema de palizadas á los puentes que hemos examinado.	94

CAPÍTULO VII

MUELLES Y EMBARCADEROS SOBRE PILOTES METÁLICOS

§ 1.—Consideraciones generales sobre los muelles y embarcaderos.	97
§ 2.—Descripción de los principales muelles construídos sobre pilotes metálicos.—Muelle de Courtown (Irlanda).—Muelle rompeolas de Portland (Inglaterra).—Muelle en la embocadura del Delaware (Estados Unidos).—Muelle para la Turquía asiática.—Embarcadero para el Congo.—Muelle de Valparaíso.	99-102
Muelles españoles.—La Coruña.—Puntales (Cádiz).—Mayagüez (Puerto Rico).—Villagarcía (Pontevedra).—Portugalete (Bilbao).—Bayona (Pontevedra).—Vigo (Pontevedra).—La Rábida (Huelva).—Junta de obras del puerto de Huelva.—Río Tinto (Huelva).	102-115
§ 3.—Estudio comparativo de los muelles construídos sobre pilotes metálicos.—Disposiciones en planta.—Materiales que deben emplearse.—Disposiciones de los pilotes.—Disposiciones de las palizadas.—Disposiciones de los tableros.	115-122

CAPÍTULO VIII

FARO CONSTRUÍDO SOBRE PILOTES METÁLICOS

§ 1.—Consideraciones generales.	123
§ 2.—Descripción de los faros más importantes apoyados sobre pilotes metálicos.—Faro de Maplin-Sand (Inglaterra).—Faro de Spit-Bank (Irlanda).—Faro de Walde (Francia).—Faro de l'Enfant Perdu (Guyana francesa).—Faros de los Lagos Amargos (Canal de Suez).—Faro de Minot's Ledge (Estados Unidos) y Bishop's Rock (Inglaterra).—Faro de Coral-Reefs (Estados Unidos).—Faros de la desembocadura del Ebro (España).—Faros de La Baña.—Faro del Fangar.—Faro de Buda.—Torre de señales de Portugalete (Bilbao).	124-134

§ 3.—Observaciones sobre las disposiciones adoptadas en los faros con pilotes de rosca.—Metal que debe emplearse.—Situación de la casa de los torreros.—Disposición general del esqueleto.—Estabilidad.—Solidaridad.	134-137
--	---------

CAPÍTULO IX

DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE PILOTES METÁLICOS

§ 1.—Roscas para amarras ó tornillos para terreno.	139
§ 2.—Pilotes de madera con roscas metálicas.	142
§ 3.—Pilotes de hierro dulce con roscas de fundición.	144
§ 4.—Roscas de palastro y de acero fundido.	147
§ 5.—Pilotes-tubos de fundición con roscas cónicas de fundición.	151
§ 6.—Tubos cilindricos con hélices.	155
§ 7.—Pilotes metálicos de plataforma ó patín.	159
§ 8.—Pilotes metálicos de hélice para hincar por percusión.	162

CAPÍTULO X

ESTUDIO COMPARATIVO Y CÁLCULO DE LAS ROSCAS METÁLICAS

Material que debe emplearse en las roscas.—Dimensiones de las roscas.—Cálculo de las roscas.—Cálculo del espesor de la rosca.—Aplicación del cálculo á las roscas del puente de Rivadesella.—Rotura de las roscas del puente de Porto.—Determinación de juntas de rotura de las roscas.	165-177
---	---------

CAPÍTULO XI

ESTUDIO COMPARATIVO Y CÁLCULOS DE LOS PILOTES METÁLICOS

Elección del sistema de pilote según la clase de terreno.—Material que es preferible.—Longitudes de los pilotes.—Diámetros de los pilotes-tubos de fundición.—Espesores de las columnas de fundición.—Empalmes de los pilotes-tubos de fundición.—Diámetros de los pilotes de hierro dulce.—Empalmes de los pilotes de hierro dulce.—Capiteles de los pilotes.—Cálculo de las dimensiones de los pilotes.—Resistencia de los pilotes á la compresión.—Cálculo de los pilotes macizos.—Cálculo de los pilotes-tubos.—Cálculo de los pilotes del puente de Rivadesella.—Resistencia de los pilotes á la torsión.—Ventajas de los pilotes de hélice sistema Pozzi.	179-194
---	---------

CAPÍTULO XII

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS DISPOSICIONES EMPLEADAS
EN LAS PALIZADAS METÁLICAS

- 1.º Palizadas rectas en un solo plano.—2.º Dobles palizadas rectas.—3.º Pilas de hierro laminado sobre pilotes metálicos.—Pesos y costo de las palizadas de cada sistema.—Ventajas é inconvenientes de cada uno de los sistemas de palizadas. 195-201

CAPÍTULO XIII

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS DISPOSICIONES EMPLEADAS
EN LOS TRAMOS METÁLICOS

- Luces ó longitudes de los tramos.—Sistema de vigas.—Continuidad de las vigas.—Celosías.—Ancho del tablero.—Disposición de los andenes.—Disposición del tablero.—Viguetas y larguerillos.—Constitución del piso.—Entarugados.—Pesos de los tramos.—¿Hierro ó acero? 203-214

CAPÍTULO XIV

HINCA DE LOS PILOTES METÁLICOS

- § 1.—Generalidades sobre la hincada de los pilotes de rosca. 215
 § 2.—Hincada de las roscas para amarras de boyas. 217
 § 3.—Andamios para la hincada por rotación.—Andamios de los puentes de Mobile.—Andamios sobre el río Muga.—Andamios del puente de Lewes.—Andamios del puente de Vouneuil-sur-Vienne.—Andamios del muelle de Courtown.—Andamios del dique de Portugaleta.—Andamios del muelle de Vigo.—Andamios del muelle de la Rábida. 218-223
 § 4.—Cabrestantes y máquinas para la rotación.—Cabrestante del muelle de Vigo.—Cabrestante de Delaware.—Cabrestante del puente de Lewes.—Cabrestante del muelle de Villagarcía.—Cabrestante del puente de Vouneuil-sur-Vienne.—Cabrestante del muelle de Huelva.—Cabrestante del puente de Koenisberg.—Máquinas especiales para la hincada y aserrado de pilotes. 223-229
 § 5.—Operarios ó motores que se necesitan para la hincada por rotación y tiempo empleado.—Muelle de Courtown.—Puente de Koenisberg.—Puente de Lewes.—Puente nuevo de

Verona.— Puente de Zevio.— Puente de Albaredo.— Puente de Vouneuil-sur-Vienne.	229-233
§ 6.—Accidentes que pueden ocurrir durante la hinca por rotación.	233
§ 7.—Medios auxiliares que facilitan la hinca por rotación.—Con martinetes.—Con trépanos.—Por inyección de agua. . . .	237-241
§ 8.—Hinca por inyección de agua de los pilotes de plataforma y ordinarios y aparato dragador.	242
§ 9.—Hinca por percusión de los pilotes de hélices sistema Pozzi.	244
Conclusiones.	247
<i>Anexo núm. 1.</i> —Tabla de los pesos de las superestructuras de puen- tes metálicos en tramos aislados.	251
<i>Anexo núm. 2.</i> —Pesos de varios puentes sobre palizadas y pilotes metálicos para carreteras.	252-253
<i>Anexo núm. 3.</i> —Pesos de varios puentes sobre palizadas y pilotes metálicos para ferrocarriles.	254
Obras consultadas.	255.

LIBRERIA EDITORIAL DE BAILLY-BAILLIERE E HIJOS
— Plaza de Santa Ana, núm. 10, MADRID. —

EN PRENSA PARA PUBLICARSE EN 1895

MANUAL
DEL CONSTRUCTOR
Y
FORMULARIO

PARA USO DE LOS ARQUITECTOS

INGENIEROS AGRÓNOMOS.—INGENIEROS ELECTRICISTAS.

INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS. — INGENIEROS
INDUSTRIALES. — INGENIEROS MILITARES. — INGENIEROS DE MINAS.

INGENIEROS DE MONTES.—AYUDANTES DE OBRAS PÚBLICAS

TOPÓGRAFOS Y MAESTROS DE OBRAS

P O R

D. José María de Soroa,

Capitán de Ingenieros.



Don Carlos Castro,

Ingeniero de Minas.

Un tomo en 12.º, de más de 1.000 páginas y figuras
intercaladas en el texto.

PRINCIPALES DIVISIONES DE QUE SE COMPONE LA OBRA

Aritmética.—Algebra.—Geometría.—Trigonometría.—Geometría analítica.—Cálculo diferencial.—Cálculo integral.—Mecánica racional.—Hidráulica.—Física.—Química.—Geología.—Materiales de construcción.—Topografía.—Mecánica aplicada á las máquinas.—Resistencia de materiales.—Cimbras.—Armaduras.—Cimentaciones.—Muros.—Bóvedas.—Arquitectura.—Vías de comunicación.—Puentes y túneles.—Electricidad industrial.

EN PRENSA PARA PUBLICARSE EN 1895

TABLAS
TAQUIMÉTRICAS

SEXAGESIMALES Y CENTESIMALES

DE BOLSILLO

PARA USO DE LOS INGENIEROS EN EL CAMPO

POR F. GASCUE

Ingeniero de Minas.

Un tomito en 16.", de unas 100 páginas.

PROPIEDADES FUNDAMENTALES

DE LAS

CORRIENTES ALTERNAS SIMPLES
Y POLIFÁSICAS

ACOPLAMIENTO DE LOS ALTERNADORES

ESTUDIO ELEMENTAL ANALÍTICO Y GRAFICO

POR

DON LUIS DE LA PEÑA Y BRAÑA

Ingeniero de Minas.

Un tomo en 12.", de unas 300 páginas y unas 80 figuras
intercaladas en el texto.

PRINCIPALES PUBLICACIONES

DE LA

LIBRERIA EDITORIAL

DE BAILLY-BAILLIERE É HIJOS

GANOT. TRATADO ELEMENTAL DE FÍSICA EXPERIMENTAL Y APLICADA, Y DE METEOROLOGÍA, seguido de una colección de 100 problemas con sus soluciones; ilustrado con 934 grabados en madera intercalados en el texto y una lámina iluminada.—*Última edición francesa*, aumentada respecto á las anteriores con varias teorías y aparatos nuevos.—Difusión, diálisis, oclusión, disociación, termodinámica, nueva teoría de la electricidad, máquina neumática de mercurio de Morren, experimentos de Helmholtz sobre la análisis y síntesis de los sonidos, llamas manométricas de Kœning, máquina dieléctrica de Carré, termómetro eléctrico de Becquerel, pirómetro eléctrico de Ed. Becquerel, aparato para la rotación electro-dinámica y electro-magnética de los líquidos por Bertin, conmutador del mismo, telégrafo autográfico de hélice de Meyer, galvanómetro receptor de William Thomson, máquina electro-magnética de Gramme, etc.; traducida, anotada y ampliada en la parte de Mecánica con las teorías de las fuerzas, movimientos, centros de gravedad y máquinas, por D. Eduardo Sanchez Pardo y D. Eduardo Leon, auxiliares del Observatorio astronómico de Madrid; nuevamente revisada y ampliada por D. Ramon Escandon, astrónomo del mismo Observatorio.—*Undécima edición*.—Madrid, 1894. Un tomo en 8.º, ilustrado con muchos grabados.—Precio: en rústica, 9 pesetas; en pasta ó tela, 10.

GIMENEZ DELGADO. AGUAS ARTESIANAS SUBTERRÁNEAS Y CORRIENTES EN LA PROVINCIA DE MADRID; con alumbramiento, extracción, conducción y aprovechamiento para riegos en toda España, por D. Joaquin Gimenez Delgado, ingeniero civil é hidrólogo.—Madrid, 1865. Un foliote.—Precio: en rústica, 2,50 pesetas.

GIOL Y SOLDEVILLA (I.). CURSO ELEMENTAL DE TOPOGRAFÍA, por el Illmo. Sr. D. I. Giol y Soldevilla.—*Segunda edición*, corregida.—Madrid, 1881. Un tomo en 8.º mayor, ilustrado con 16 láminas.—Precio: en rústica, 10 pesetas; en pasta ó tela, 11,50.

LEFEVRE (Julian). DICCIONARIO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO, y sus aplicaciones á las ciencias, las artes y la industria, por Julian Lefevre, catedrático de la Escuela de Ciencias de Nantes. Con la colaboración de ingenieros y electricistas, y con una introducción del profesor Bouty; traducido y adicionado por A. de San Roman, ingeniero del Cuerpo de Minas. Ilustrado con 1125 figuras intercaladas en el texto.

CONDICIONES DE LA PUBLICACION. — Este importante Diccionario se publica por entregas de 16 páginas á dos co-

lumnas, en muy buen papel, al precio de **0,40 céntimos de peseta cada entrega**. La obra consta de **66 entregas**, pero el precio no excede de **25 pesetas**, á pesar de los grandes gastos que ha ocasionado; en su consecuencia, á contar de la entrega **63 á final** sólo cuestan todas juntas **20 céntimos de peseta**.—Precio del tomo completo: en rústica, 25 pesetas; en pasta, 27,50.

MALO DE MOLINA. MANUAL DEL MINERO ESPAÑOL, conteniendo todos sus derechos y obligaciones, segun la legislacion de 1859, comentada histórica y críticamente, con todas las advertencias económicas que son útiles para la mejor y más acertada marcha de los negocios mineros, por D. Manuel **Malo de Molina**, licenciado en jurisprudencia, etc.—Madrid, 1864. Un tomo en 8.º—Precio: en rústica, 9 pesetas; en pasta ó tela, 10,50.

MARTIN (D. Meliton). NUEVO SISTEMA LEGAL DE PESAS Y MEDIDAS.—*Décimatercera edicion*, reformada y adicionada con un Prólogo histórico de las pesas y medidas, y la concordancia con los de América, acompañada de un metro en una cinta.—Madrid, 1876. Un tomo en 8.º—Precio: en rústica, 2,50 pesetas; en pasta ó tela, 4.

SAEZ DE MONTOYA Y UTOR. TRATADO TEÓRICO Y PRÁCTICO DE LOS PRODUCTOS NATURALES Y ARTICULOS FABRICADOS QUE SON OBJETO DE COMERCIO, con las nociones de física, química, historia natural y análisis indispensables á este estudio; dispuesto para uso de los alumnos de la carrera pericial de aduanas, de la Escuela profesional de Comercio de esta Corte, comerciantes, comisionistas, corredores, etc., etc.—PRIMERA PARTE: *Nociones de Física, Química, Productos minerales y Análisis química*, por D. Constantino Saez de Montoya.—SEGUNDA PARTE: *Nociones de Historia natural y Productos vegetales y animales*, por D. Luis María Utor y Suarez.—Madrid, 1862. Dos tomos en 8.º—Precio: en rústica, 15 pesetas; en pasta ó tela, 18.

SOLER. DOCIMASIA ó *Arte de ensayar los minerales*; extractada del Berthier, ampliada con las lecciones de esta asignatura que se explican en la Escuela especial de Ingenieros de minas y con los métodos volumétricos y analíticos más usuales, é ilustrada con 137 grabados intercalados en el texto; para uso de los ingenieros de minas é industriales, auxiliares y capataces de minas, mineros, fundidores, fabricantes, metalurgistas, etc., etc., por D. José María Soler, Ingeniero de minas.—Madrid 1873. Un tomo en 8.º—Precio

TEJERA
uno sol
mostrad
dal de 8
gunda e
en 8.º—

ESCUELA TÉCNICA DE PERITOS INDUSTRIALES
DE SEVILLA

ESTANTE 14
TABLA 3
NÚMERO 2778

ulices:
as de-
smoi-
.—Se-
tomo



LIBRERIA EDITORIAL DE BAILLY-BAILLIERE É HIJOS

— Plaza de Santa Ana, núm. 10, MADRID. —

EN PRENSA PARA PUBLICARSE EN 1895

MANUAL
DEL CONSTRUCTOR
Y
FORMULARIO

PARA USO DE LOS ARQUITECTOS

INGENIEROS AGRÓNOMOS.—INGENIEROS ELECTRICISTAS.

INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS.—INGENIEROS
INDUSTRIALES. — INGENIEROS MILITARES. — INGENIEROS DE MINAS.

INGENIEROS DE MONTES.—AYUDANTES DE OBRAS PÚBLICAS

TOPÓGRAFOS Y MAESTROS DE OBRAS

POR

D. José María de Soroa,

Capitán de Ingenieros.



Don Carlos Castro,

Ingeniero de Minas.

Un tomo en 12.º, de más de 1.000 páginas y figuras
intercaladas en el texto.

PRINCIPALES DIVISIONES DE QUE SE COMPONE LA OBRA

Aritmética.—Álgebra.—Geometría.—Trigonometría.—Geometría analítica.—Cálculo diferencial.—Cálculo integral.—Mecánica racional.—Hidráulica.—Física.—Química.—Geología.—Materiales de construcción.—Topografía.—Mecánica aplicada á las máquinas.—Resistencia de materiales.—Cimbras.—Armaduras.—Cimentaciones.—Muros.—Bóvedas.—Arquitectura.—Vías de comunicación —Puentes y túneles.—Electricidad industrial.