CEMENTO ARMADO (1)

Bajo esta denominacion un poco vaga, se entiende toda construccion de mortero de cemento o concreto con un esqueleto metálico, sea de acero o de fierro, i se hacen de estas materias porque, como lo veremos mas adelante, sus propiedades son las que se adaptan mas al objeto perseguido.

¿Cuál es este objeto? Como en todas las construcciones, el mejor aprovechamiento del material, es decir, el mayor rendimiento.

VENTAJAS E INCONVENIENTES

Haciendo una comparacion entre los pesos que se necesita para un metro cuadrado de tabique con diferentes materiales, se ve que el cemento armado es el mas ventajoso; así: un tabique de 5 cm. de espesor hecho con mortero de cemento en la proporcion de 1 : 3, proporcion que es la mas conveniente en obras de pequeño espesor, i un esqueleto de alambre de fierro de 5 mm. de diámetro i distante de 5 cm. pesa 96 klg. por metro cuadrado; un tabique de ladrillo hueco de $18 \times 8.5 \times 5$ con un peso por m^3 de 950 klg. pesa 171 klg. por m^2; con ladrillo fiscal i medio ladrillo de espesor el tabique pesaria 270 klg.

El cemento armado es impermeable. Esto se puede comprobar examinando los tubos para el trasporte del agua.

Al principio dejan pasar el agua, debido a los vacíos que existen en el mortero i que segun el señor Alexandre varian entre 13 i 33 por ciento del volúmen aparente, esto es con dósis de 250, 400 i 550 klg. de cemento por m^3 de arena; pero estos vacíos se van llenando poco a poco i se establece la impermeabilidad. Los elementos del mortero forman con el anhidrido carbónico del agua una pasta insoluble de carbonato de calcio i de silicato doble de alúmina i de cal que se deposita en los vacíos mojados por el líquido, este depósito toma consistencia i establece así la impermeabilidad. Si la presion aumenta el agua atraviesa esta primera capa de depósitos i va a formar tras ésta otro, i así sucesivamente hasta que el tubo queda impermeable aun para presiones algo elevadas. El señor Cottancin cita el caso de un tubo construido para una presion de 60 m.

(1) Me he servido de artículos aparecidos en *Revue Générale de Chemins de Fer*, *Génie Civil*, *Nouvelles Annales de la Construction* i *Annales des Travaux Publics de Bélgique*.

de agua cuya permeabilidad comenzó a la presion de 2 m., el cual fué poniéndose cada vez mas impermeable, hasta resistir a la presion de 60 m., a pesar de este hecho algunos injenieros opinan que los tubos de cemento armado no deben ser sometidos a presiones mayores de 25 a 35 m. de agua.

El tiempo que demora un tubo en adquirir esta propiedad, varia con la cantidad de anhidrido carbónico que circule en el agua; esto nos induciria a aumentar artificialmente la cantidad de este anhidrido para disminuir el tiempo de preparacion de los tubos, pero con la abundancia de anhidrido carbónico se forma un bicarbonato que necesita cierto tiempo para desdoblarse i producir el efecto del carbonato.

El fierro usado en las construcciones de cemento armado no se oxida. Se ha empleado fierro oxidado previamente i algun tiempo despues de romper la construccion se vió que el metal estaba azul, como si acabara de ser laminado. El fierro en estas construcciones no se oxida ni aunque esté espuesto a la humedad, como se vió en la canalizacion de aguas de Asnières i en losas para veredas en Alemania.

No se sabe si esta perfecta conservacion se debe a una accion física, como que al sacar el cemento el óxido del esqueleto quedara adherido al mortero o a una accion química como ser la formacion de un silicato insoluble que viene a formar alrededor una capa protectora. Esta última esplicacion es la mas probable, dice el señor Gérard Lavergne, pues la accion física no impediria la oxidacion lenta, que es una accion química. Por otra parte, en muchos casos para protejer el fierro contra el moho se le ha cubierto con morteros de cemento.

Al sustituir las vigas de maderas de los pisos por vigas de fierro se ha tenido en vista una incombustibilidad que se alcanzó en gran parte, pero en cambio al dilatarse las vigas con el calor producen en los muros solicitaciones mui desfavorables que en muchos casos los echan al suelo. No hace mucho hemos tenido en los Arsenales de Marina un accidente de esta especie que ha motivado la reconstruccion casi completa del edificio.

Si los suelos se hnbieran hecho de cemento armado no habria pasado esto. La gran capacidad calorífica i la poca conductibilidad del mortero o concreto mantiene durante un incendio una temperatura relativamente baja; ademas la mezcla constituye una envoltura que sirve de proteccion al fierro, el cual toma la temperatura de esta envoltura. Ahora, si el conjunto tiene la misma temperatura, la dilatacion será mas o ménos la misma, pues el coeficiente de dilatacion de ambos materiales es mui parecido. Para citar algunos números diremos que el señor Durand Claye encontró que este coeficiente varia entre 0.0000130 i 0,0000148 para el fierro i que para el cemento era mas o ménos de 0.0000135, así no se destruye la adherencia entre los dos materiales hetereojéneos, pues se ve que el coeficiente de dilatacion del cemento está entre los límites del coeficiente de dilatacion del fierro.

La práctica, ha demostrado, por otra parte, esta incombustibilidad.

En 1893 una compañía de seguros de Berlin destinó 10,000 marcos para premios en un concurso de aparatos i dispositivos destinados a impedir los incendios i disminuir sus consecuencias. Losas, suelos, bóvedas i escaleras del sistema Monier se sometieron durante una hora a temperaturas mayores de 1000° sin otro desperfecto que el desprendimiento de algunas partes del enlucido i obtuvo el premio mas alto.

El 2 de Mayo de 1896, en el Cairo, un departamento de un edificio cuyos suelos estaban construidos segun el sistema Hennebique (véase mas adelante). El suelo se cargó con 108 toneladas de arena i se puso madera impregnada de petróleo; i se produjo un incendio que duro 2 horas mas o ménos i el suelo resistió perfectamente; aun al enfriamiento brusco que produjo un chorro de agua.

Posteriormente en Gand el año 1899 i en 1900 en Paris ensayos mas prolijos han demostrado que la *incombustibilidad* del cemento armado es completa. Esto ha mostrado una rebaja en las primas exijidas por las compañías de seguros a establecimientos industriales como refinerías, molinos, etc., donde las probabilidades de incendio son bastante grandes.

Se podria preguntar si estas construcciones son sólidas o nó. Son sólidas i esta solidez se debe a varias circunstancias:

A las cualidades complementarias de las materias constitutivas.

A la adherencia que liga perfectamente estas materias.

Respecto del valor de esta adherencia, el señor Baúschinger encontró 40 a 47 klg. por cm.^{2} i los señores Coignet i Tedesco solo han encontrado 20 a 25. Esto se esplica por una diferencia de composicion i edad de los morteros, pues las construcciones ensayadas por los últimos esperimentadores solo tenian 6 dias. Pero el señor Rabut dice que esta adherencia es mui pequeña, pero si el arranque se hace tan-jencialmente se necesitan esfuerzos considerables. Aun en este último caso, la resistencia por adherencia seria superior a la resistencia elástica a la traccion.

Debe tambien algo de su solidez a la elasticidad que las hace resistir a presiones anormales en ciertos puntos trasmitiendo las presiones con deformaciones elásticas.

Con el esqueleto del cemento armado se puede ligar entre sí las diversas partes de una construccion. Esta circunstancia induce a recomendar el cemento armado para construcciones en terrenos poco estables, o cuando estan espuestas a vientos de gran velocidad o a temblores. Los efectos de éstos últimos todos los conocemos i dificultan mucho las construciones en malos terrenos como sucede en los edificios del malecon de Valparaiso.

Ademas, siendo el esqueleto fácil de doblarse i de darle las formas mas caprichosa, se presta mucho para construcciones con adorno arte nuevo.

Como, por lo jeneral, siempre es fácil proporcionarse a tiempo los materiales puesto que no hai dificultad alguna en los trasportes ni tampoco necesidad de instalar grandes grúas; el tiempo empleado en la ejecucion de una obra será mucho menor, sobre todo cuando los resultados dependen en parte de esta misma rapidez.

En cuanto a economía, diré que entre nosotros es dudosa, pues el ladrillo i la cal aérea nacionales son buenos i baratos, miéntras que el cemento es importado i por lo tanto sujeto a las variaciones del cambio. El cemento nacional aunque sacó premio en Búfalo me dicen que no es bueno, pues aunque hai algunos sacos que merecen premio otros no lo merecen.

Calculando los precios por m^2 del tabique cuyos pesos determiné, se tendrá:

2.25 por m^2 si la albañilería es de ladrillo fiscal con mezcla de 1 : 3 con cal i arena.

3.22 si el mortero es de 1 : 3 de cemento i arena como en el cemento armado.

2.82 para cemento armado en las condiciones ya dichas.

2.57 para concreto armado en la dósis de 1, 2, 3.

Si como se vé aumenta el precio en cambio disminuye el peso lo que en construcciones de importancia puede reducir las dimensiones de los cimientos i producir alguna economía.

Tratándose de tubos para agua potable esta economía es real puesto que los precios tienen que luchar con los de un material importado tambien como lo serian los tubos de un diámetro bastante grande.

En Europa esta economía llega a un 44 por ciento i aun mas.

El señor Boileau calculó los precios de un edificio que debia recibir 6 pisos mas i obtuvo en el primer piso una economía de 44 por ciento sobre la construccion de albañilería ordinaria, (fierro, yeso, madera i piedra blanda que se labra a sierra) pero en el edificio completo la economía fué solo de 25 por ciento.

El cemento armado ofrece entre otros el inconveniente de no haber salido de un empirismo mas o ménos grande, pero esto no es un inconveniente mui grave pues, i por temor no se disminuyen las dimensiones para conseguir mayores economías en cambio se tiene una economía bastante grande i sobre todo mayor seguridad de estabilidad.

Otros inconvenientes son la necesidad de emplear moldes, i la falta de operarios competentes; este último es de tal importancia que debido a él han fracasado algunas construcciones.

La calidad de la arena, las dósis, cantidad de agua i modo de fabricacion, son todos factores bastante indeterminados de los cuales depende la resistencia de los morteros i constituye, por consiguiente, otro inconveniente para la realizacion de obras proyectadas por alguno de los métodos de cálculo.

Ademas, debido a su dureza, es necesario renunciar i clavar clavos en los muros de cemento armado, pero en cambio trasmiten mal los sonidos.

PRINCIPALES SISTEMAS

Hai una gran variedad, dependiendo todos, como es natural, del esqueleto teniendo caracteres distintivos bastante netos.

Monier.—El esqueleto es formado por dos séries de barras paralelas, redondas o cuadradas, que se encuentran segun ángulos rectos. Las barras inferiores *a* llamadas de resistencia por ser las que soportan los esfuerzos, cuya seccion es variable segun este esfuerzo i cuyas separaciones varian entre 0.05 m. i 0.10 m. de eje a eje, teniendo, ademas una lonjitud máxima entre los apoyos. Las barrillas superiores *b* llamadas de reparticion tienen diámetros que varian entre 3 i 6 mm. Las barrillas de estas capas pueden hacerse de varios trozos con tal que las uniones se hagan en una lonjitud de 3 a 7 cm. Las dos capas de alambres van unidas en sus cruzamientos (no es necesario en todos) por alambres por 1 mm. (fig. 1). El esqueleto está colocado en la parte inferior que es donde se producen los esfuerzos de traccion. Cuando las cargas a que tienen que

resistir son grandes se ponen varios enrejados que se ligan entre sí mas o ménos imperfectamente.

Bordenave. Se distingue del precedente porque el esqueleto está formado con fierros *I. U T I* para lo cual se laminan alambres cuyas dimensiones varian entre 8 i 26 mm. para altura, 3.5 i 11 mm. de ancho i 1.2 i 2.4 de espesor i que ha tomado el nombre de *sidero-cemento.* Se usa para la fabricacion de tubos para agua potable.

Hyatt.—(fig. 2). Las barras de resistencia son formadas por láminas colocadas verticalmente con agujeros por los que pasan las barras de reparticion.

Ransom.—(fig. 3). El esqueleto no tiene sino barras cuadradas, relativamente gruesas, torcidas previamente para impedir el resbalamiento de éstas ya que no tienen ligazones entre sí. Estos dos últimos sistemas no tienen tanta aplicacion como los otros.

Melan.—Se parece al precedente pero usa fierros perfilados. Se usa para bóvedas dando a los fierros la forma de la bóveda.

Cottancin.—Es uno de los sistemas mas importantes. Aquí ha desaparecido toda ligazon especial entre el esqueleto, consiguiendo una solidaridad suficiente al realizar un tejido con las barrillas o alambres que son de 4 mm. como se puede ver en las figuras 4, 5 i 6. La mayor o menor resistencia se obtiene, en este sistema, apretando el tejido; i cuando las cargas probables exijan apretar el tejido tanto que comprometiera la adherencia del cemento, en vez de apretar el tejido se reforzara con alambres mas gruesos.

En este sistema se usa una especie de contra fuertes llamados epines-contrefort que constituyen verdaderas vigas armadas como la *A B C D* (fig 7) en las que las barras que trabajan a la compresion son remplazadas por el cemento i las que trabajan a la traccion por barillas o alambres de acero. En los suelos con alambres de 4 mm. i de 4 cm. de espesor se puede dejar claros hasta de 1.30 sin estos contrafuertes, con los cuales se pueden realizar dibujos para el cielo de las habitaciones inferiores.

Supongamos un suelo con estos contrafuertes (fig. 8) en el que el espacio libre *L* quedaria mui feo para formar un cielo, así que se redondean las estremidades *C* i *D* formando labios para hacer reposar en ellos losas *A B*, hechas aparte, i que se sostienen en *A' B'* durante la ejecucion del piso i solo se dejan reposar sobre *D C* cuando el suelo esté completamente seco.

Sistema con metal Deployé.—En vez de barras o alambre de fierro como en los casos anteriores, el esqueleto está formado de metal Deployé o sea metal desplegado, pues ha esperimentado un verdadero despliegue (fig. 9). Este metal se obtiene por medio de máquinas especiales que cortan los palastros.

Hennebique.—Es uno de los sistemas usados i se refiere a las vigas pues es la forma de estos lo que lo caracteriza. Las vigas son formadas por prisma de base rectangular o cuadrada de mortero de cemento; en la parte inferior de estos rectángulos hai barras de fierro, siempre en número par, sujetas a la demas parte de la construccion (suelo p. ej.) por estribos formados con láminas de fierro o acero (figs. 10-15).

La figura 10 representa un pilar. Las 11 i 12 una viga secundaria i maestra respectivamente.

En la figura 13 el tejido jeneral del suelo se ha doblado para formar los estribos.

Las 14 i 15 son vigas con estribos verticales o inclinados para aumentar la semejanza con las vigas armadas.

MATERIAL I MODO DE EJECUCION

De una manera jeneral no se debe usar en la preparacion del concreto o mortero otro cemento sino el de fragua lenta, escepcionalmente el de fragua rápida; en este último caso como hai que hacer la mezcla en pequeñas cantidades i usarla inmediatamente despues de su confeccion, los precios aumentan i su empleo es mui incómodo. Se recomienda ensayar previamente el cemento.

Como arena se prefiere la de grano grueso, silicioso i que cruja entre los dedos; usando para tubos un grano mas fino. Para el concreto debe usarse una piedrecilla cuyo tamaño varie entre 2 i 3 cent.

Algunas dósis que han dado buen resultado son las siguientes:

1	cemento	por	1.5	de	arena	i 3.7	de ripio
1	»	»	2.5	»	3.5	»	
1	»	»	2	»	4	»	

Cuando lo que se va a construir es de poco espesor se suprime el ripio i se usa mortero de cemento en la dósis de 1 por 3 es decir 430 klg. de cemento por m^3 de arena.

Tambien se usan las dósis de 250, 300 i 400 klg. por m^3 de arena. Escepcionalmente i en trabajos marítimos se usa 800 klm. de cemento por m^3 de arena.

El concreto debe hacerse, en lo posible, mecánicamente, pues se tiene economía i mayor homojeneidad, esto último permite disminuir la dósis en cemento. Deben tener el agua estrictamente necesaria.

El metal que al principio era fierro, es ahora acero.

Los fierros deben dar a la ruptura 35 kg. por m^2 i el acero 42.

En jeneral las construcciones de cemento armado se hacen por partes sucesivas i en su colocacion definitiva, con raras escepciones, como cuando se trata de losas que se pueden moldear aparte, en cual caso hai que esperar hasta que la fragua sea completa.

Para ejecutar estas obras se emplean cofres o moldes de madera con superficies interiores bien lisas, estos moldes deben ser bastante resistentes para soportar la carga del material i la accion del pison sin sufrir deformacion. Tambien deben estar construidos de modo de poder desarmarse con facilidad i servir para otra construccion análoga.

Las figuras 16 i 17 representan un molde de viga maestra i vigueta respectivamente, *a* i *d* piezas de fondo del largo de las vigas, *b* i *e* piesas laterales, *c* i *c'* tacos para suprimir las aristas vivas, *E* soporte, *b* piezas de madera para la confeccion del suelo mismo i *t* tacos que sostienen los soportes *d*.

El esqueleto puede ser colocado ántes o despues que los moldes, si se hace ántes se puede aprovechar el esqueleto para sostener los moldes.

El concreto debe colocarse por capas que se apisonan hasta reducir el espesor primitivo próximamente a la mitad. Estas capas despues del apisonamiento deben tener 2 cm. en el entramado jeneral i de 2 a 5 cm. en las vigas.

Las partes del esqueleto deben estar en perfecto contacto con el concreto i sobre todo no sufrir ninguna deformacion por el apisonamiento.

Se apisona el concreto o mortero por medio de útiles como los de las figuras 9. El instrumento 9_b llamado «Pié de ciervo» (Pied de Biche) sirve para comprimir la mezcla en las partes donde no se puedan introducir los otros pisones.

Despues de esta operacion debe salir agua por la superficie del concreto si en el momento de la confeccion del mortero se ha puesto la cantidad de agua necesaria.

Al pisonear el concreto se tiene en vista que el concreto se haga mas compacto i homojéneo aumentando así la resistencia por una reparticion uniforme del trabajo.

Las soldaduras del trabajo hecho el dia anterior con el nuevo es aquí como en todas las construcciones de concreto un punto débil que exije mucha atencion. Es bueno exijir en estos puntos un lavado hecho con un cemento puro diluido en bastante agua; un pisoneado mui enérjico i muchas veces el empleo de una capa de un centímetro mas o ménos de un mortero con iguales volúmenes de arena i cemento.

Cuando la mezcla está a una temperatura relativamente elevada se produce desigualmente la fragua lo que produce fisuras: así que, hai que regar la construccion para evitar estas temperaturas anormales i a mas ponerse al abrigo de la accion directa de los rayos del sol.

Quitados los moldes, se cubre la construccion con un enlucido de 1 de cemento por 2 de arena con el objeto de que desaparezcan las rugosidades i señales que deja el moldeado.

Muchas veces i sobre todo cuando los trabajos son de alguna importancia, se hace al mismo tiempo que la obra i con los mismos materiales elementos que puedan servir de prueba i llevarse hasta la ruptura. Esto deberia ser una cláusula de todo contrato sobre cemento armado.

APLICACIONES

Fundaciones.—El concreto armado tiene suma importancia para las fundaciones. Se usan pilotes que se manejan como si fueran de madera, los cajones para fundar pueden hacerse tambien de concreto armado; pero la gran importancia está en la economía para fundaciones en malos suelos; esta economía es obtenida por la poca profundidad de las escavaciones pues se hacen casi en la superficie del suelo plataformas, cuyas dimensiones son dadas por las cargas que se pueden hacer obrar sobreel suelo de las fundaciones. Las vigas que componen estas plataformas pueden resistir a los esfuerzos de traccion producidos por la compresion del suelo, así que no hai temor a que se produzcan rasgaduras o asientos desiguales como en las fundaciones ordinarias.

En Nántes para fundar el Instituto Bacteriolójico se construyó un rectángulo de 29.30 m. por 15.70 con partes principales i secundarias. En las partes principales el emplantillado tiene 2.50 i en las secundarias 1.10. A mas segun el corte $g\ H$ (fig. 20) los emplantillados de 2.80 de ancho con 5 barras trasversales por metro.

Una solucion análoga ha satisfecho completamente en Burdeos, donde se estableció, sobre un terreno poco resistente una construccion para los viajeros de la línea de tranvías rurales entre Burdeos i Caudillac. Aquí para recibir los muros se construyeron emplan-

tillados de 2.00 i 2.20 de ancho i así se pudo cargar el suelo con 15 o 16 toneladas por m^2 sin que la tasa de trabajo del suelo pasara de 0.75 klg. por $cm.^2$ (fig. 21).

En Chantenay, cerca de Nántes, se hizo un emplantillado sin ninguna solucion de continuidad en toda la superficie ocupada por el edificio, con vigas principales bajo los muros, las que por medio de viguetas trasmiten las presiones a la parte jeneral del emplantillado; esto es como el suelo de una habitacion.

Las vigas principales de cemento armado tienen 0.60 m. por 0.30 m., las secundarias 0.40 m. por 0.20 i el relleno jeneral un espesor de 0.20.

En los alrededores de Chalonnes en el cruzamiento de una de las lineas férreas del Anjou con la de Poissonière a Niort un pasaje inferior oblícuo con una luz de 4.00 m. mas o ménos.

Los dos muros de la obra de arte han sido construidos sobre un emplantillado de cemento armado compuesto de dos vigas lonjitudinales de 0.60 por 0.20,19 trasversales segun el ángulo de oblicuidad del pasaje i un relleno jeneral de 0.16 m. (fig. 22).

Esta construccion ha satisfecho completamente desde los puntos de vista de la economía, rapidez i facilidad de ejecucion.

Aplicaciones ordinarias.—Se reducen a construcciones de pisos, apoyos, paredes i terrasas estos últimos no son sino pisos.

En Lille se ha construido, para una hilandería, un edificio de 37.74 por 38.24 en la planta, de 4 pisos de 4.50 de alto cada uno, i segun el método Hennebique. Reposa sobre 49 pilares, que se apoyan sobre un emplantillado cuyas dimensiones estan en relacion a la resistencia local de un suelo formado artificialmente. Los suelos fueron calculados para sobrecargas de 450 a 800 klgs. por $m.^2$ Las vigas maestras i secundarias tienen las mismas dimensiones, sus resistencias se han obtenido variando las secciones de las barras i estribos.

El techo está formado por una terrasa dispuesta de modo que siempre pueda estar cubierta de unos 20 cm. de agua, con este objeto se estableció un estanque de 20 m^3 en una torre adyacente al edificio, esta torre tiene un ascensor i una escalera de cemento armado

Gracias a esta capa de 20 cm. de agua i a la poca conductibilidad del cemento, se ha conseguido que las diferencias de temperatura, entre los dias mas calurosos del verano i los mas frios, no pase de 4°. Esta temperatura constante sabemos que es mui ventajosa para estos talleres. Ademas el edificio está provisto de grandes ventanas que iluminan el interior de un modo irreprochable.

Ultimamente en Minealoa (Long-Island, E. U. de A.) se ha construido, con cemento armado, el Palacio de Justicia.

La planta tiene la forma de una T; el cuerpo principal tiene 53.5 m. de largo por 11 2 m. de ancho i el anexo tiene 18.2 m. por 15.8. En el cruzamiento de los dos cuerpos de edificio, hai una cúpula con 7.60 m. de diámetro interior. La construccion es simétrica con relacion al edificio anexo

La particularidad de este edificio es, el no tener otro material sino el cemento armado; todo es de cemento armado, muros, columnas, techos, suelos hasta la cúpula i las fundaciones, solo èn las articulaciones hai solucion de continuidad.

Entre las aplicaciones ordinarias se puede citar una plataforma para carbon construida en 1896 en Savenay (Loire-Inferieure). Tiene 18 m. de largo por 3 m. de ancho i fué calculada para soportar hasta una sobrecarga de 1,000 klg. por m^2, (fig. 23).

La prueba se hizo hasta con 1,500 klg. por m^2 las diversas faces de la prueba se pueden ver en el diagrama figura 24; solo agregaremos que, despues de suprimidas las cargas quedaron flechas permanentes de +0.2 mm. en el tramo cargado i de −0.7 mm. i −0.4 mm. en los tramos 1.° i 2.° respectivamente.

De cemento armado se pueden construir habitaciones para camineros. Estas habitaciones serian trasportables i mui cómodas pues no se tendrian temperaturas estremas en su interior gracias a la poca conductibilidad del cemento.

Podremos citar, tambien, entre las aplicaciones ordinarias, el empleo del cemento armado para la confeccion de postes para líneas aéreas.

En los alrededores de Angers i de Rennes los postes que sostienen el alambre conductor de los tranvías eléctricos por trolley se hicieron de cemento armado (fig. 25) e importaron 100 fr. colocados i 70 fr. al pié de la obra.

En la estacion de Chantenay, cerca de Nántes, la trasmision aérea está sostenida por poste de cemento armado de 5.20 de altura i cada uno costó solo 22 fr 35 (fig. 25).

Aplicaciones hidráulicas.—En el departamento de «La Seine» del cual es capital Paris, se ha hecho una aplicacion del cemento armado para el saneamiento de este departamento. Esta es una de las aplicaciones mas en grande del cemento en obras hidráulicas.

Las obras son constituidas por:

1.° Una galería elíptica de 2,500 metros de lonjitud i 5.16 m. de luz donde se colocaron dos conductos de 1.80 m. de diámetro, que desde el puente acueducto de Argenteuil se estienden hasta el punto mas alto que es el oríjen de la segunda parte del acueducto principal, hecho de fábrica;

2.° Una parte de 560 metros de este acueducto que queda en relieve sobre el suelo i que va cubierto;

3.° Un conducto de 1.80 m., con un largo de 1,500 metros i con presiones interiores hasta de 22 m. de agua; i

4.° La canalizacion del parque agrícola de Achères, que tiene un desarrollo de 35 klm. mas o ménos, i cuya presion puede llegar a 40 m. de agua.

La galería tiene 3.34 de alto (fig. 28). El esqueleto es un enrejado metálico, con mallas de 11 cm. por lado, que resulta del cruce de directrices elípticas con jeneratrices rectilíneas formadas por barras redondas de acero de 16 i 18 mm. de diámetro, con amarras de alambre de fierro recocido, de dos en dos mallas i rodeado por una capa de mortero de cemento de 8 cm. de espesor.

La constitucion del acueducto es: un espesor de mortero de cemento de 9 cm. comprendido 1 cm. de un enlucido i un esqueleto de acero redondo de 8 mm. formando mallas de 11 cm. (fig. 29).

En lugar de este acueducto debia haberse hecho uno de fábrica, con 30 cm. en la clave i 60 cm. en los estremos del diámetro horizontal i un ancho en la base de 4.50 m.

Esto daba para el peso por m. c. 18 toneladas; en cambio el cemento armado no dió mas que 1 tonelada i el gasto fué menor que el calculado para el caso de fábrica.

El conducto de 1.80 m. está formado por un tubo de palastro de acero reforzado por llantas circulares cuyas uniones (para formar el círculo) se hicieron remachadas con planchas de recubrimiento; estas llantas estan fijas al tubo. Mas al esterior hai otras llantas análogas cuyas distancias se mantienen por entalles formados en jeneratrices de madera, en los cuales entalles ajusta la llanta.

Colocado el esqueleto verticalmente entre un cilindro de acero cuyo diámetro se podia hacer variar i tres moldes de palastro de acero que formaban un cilindro completo, se echó el mortero formando tubos de 2.50 m. o 3 m. La maniobra de los cilindros se hizo por un pescante.

Estos tubos se colocaron en la galería elíptica sin que fuera necesario hacerles ninguna reparacion ni aun a los anillos que sirvieron para las junturas.

Los tubos de la canalizacion de Achères se hicieron de un modo análogo, pero los tubos se ensamblaron por dos junturas sobrepuestas, una de amianto aplicada sobre el palastro, la segunda consistia en un anillo de cemento armado que cubrió al primero i soldado al tubo con cemento que llenó las hendiduras. En estos tubos se cubrió el palastro con plomo.

En Venecia se ha construido un conducto de *sidero cemento* de 6,500 m. con un diámetro de 0.80 i que con espesor de 0.037 m. debia resistir una presion de 7 m. de agua. La figura 27 representa el diagrama de las pruebas de impermeabilidad echas en estos tubos. Por el diagrama se ve que en casi año i medio se obtuvo una impermeabilidad casi absoluta.

Para el agua potable de Bône (Algérie) se han construido cinco sifones con una lonjitud total de 5,401 m., de 0.6 m. de diámetro para presiones que varian entre 8.50 m. i 24 m. Estos trabajos dieron tan buenos resultados que despues se construyó un último sifon de 25 klm. de largo para presiones variables entre 17 i 24 m. de agua.

Otra aplicacion a la hidráulica, i que es mui importante consiste en la construccion de estanques de cemento armado. En la ciudad de Champedemiers (Deux-Sèvres) se han construido dos estanques de sidero-cemento. Son cilíndricos i cubiertos con un casquete esférico de 9.08 m. de radio. Cada estanque tiene 5.00 m. de radio, 4.00 m. de altura la parte cilíndrica i 1.5 de flecha el casquete esférico. Estan fundados sobre concreto.

El radier está formado por una capa de mortero de cemento armado con fierros I formando cuadrados de 15 cm. por lado.

Las paredes del cilindro del mismo material, mas ancho abajo, tiene una armadura de fierros I de 24 mm. distantes segun la altura, mas separados arriba i acercándose hácia la base.

El casquete está hecho con fierros redondos, unos radiales no llegando todos hasta la cúspide del casquete i otros dispuestos en círculos concéntricos.

La fig. 26 representa un corte meridiano de uno de estos estanques.

Puentes.—Los trabajos que el señor de la Noë ha hecho ejecutar para los tranvías de la Sarthe i especialmente en la capital de este departamento Mans, i especialmente

el puente en X nos muestran los servicios que puede prestar el cemento armado en la construccion de obras de arte.

Como en las construcciones metálicas, hai puentes de vigas rectas i en arco.

Los puentes de vigas rectas no son otra cosa que suelos cuyo relleno constituye el piso del puente. Son por lo jeneral obras de poca importancia para carreteras o caminos calculadas para soportar presiones de 300 a 400 klg. por m² superficial.

De esta clase de puentes hai algunos ejemplos especialmente en Suiza para líneas férreas.

Sobre la línea de doble via de Laussanne a Jinebra, se construyó en 1897 para atravesar el camino de Creux du Mas un paso superior oblícuo de 3.89 m. de luz recta de cemento armado.

La obra se compone de cuatro vigas de 5.50 m. de largo, 0.30 m. de ancho i 0.55 de alto espaciadas de 1.80 m. En cada viga hai dos filas de 3 barras de fierros redondos. El relleno jeneral tiene un espesor de 0.14 m. Forma una cuba que contiene el lastre i termina en los bordes por dos aceras voladas de 0.65 m. de ancho cada una (fig. 29). La obra desde su puesta en servicio ha satisfecho completamente.

En 1900 se construyó en Lorient un paso para peatones por sobre la via, en la entrada de la estacion, con un relleno plano. Esta obra merece ser citada por su poco peso i elegancia.

Se compone de un tramo central de 17.15 de largo i de 4 tramos de 5 a 6 m. de luz que corresponden a las escaleras (fig. 30).

Las dos vigas del tramo central tienen 0.40 m. en la base i 1.80 m. en los puntos de apoyo sobre los pilares con un rebaje de $\frac{1}{12}$. El relleno, plano, reforzado por 5 nervios trasversales forma un tablero de 2.00 de ancho que puede soportar una carga de 300 klg. por m² superficial. Costó 7,610 fr.

En los grandes puentes de cemento armado, el relleno, en vez de ser plano tiene, como las vigas, una forma curva.

De estos es el primer puente construido en Estados Unidos para ferrocarriles, hecho de cemento armado. Se construyó en la estacion de Central-Michigan sobre el Southern-Boulevard i es oblícuo. Tiene una luz recta de 15.24 m., 2.89 de flecha i 30.50 m. de ancho.

Las figuras dan los demas números interesantes (fig. 31). El enrejado de fierro plat, que une las cantoneras que forman los arcos metálicos son reemplazadas en la llave i arranques por un alma llena. El trasado tiene una chapa de 4 cm. de espesor de asfalto, los muros de cabeza i los muros en ala son de fábrica.

Pero uno de los ejemplos mas interesantes, talvez el tipo de puentes de cemento armado, es el que se construyó sobre el Vienne (afluente del Loira) en Châtelleranlt. Esceptuándose las barandillas, que son de fierro, toda la demas parte de la obra es de cemento armado, hasta las fundaciones. El puente, cuyo largo total es de 135 m. entre los estribos, consta de 3 tramos, uno central de 50 m. de luz con 4.80 de flecha i dos laterales de 40 m. de luz i un rebajo de $\frac{1}{10}$ (fig. 32).

Los machones i estribos reposan sobre emparrillados de cemento armado embutido

en la roca. Estos apoyos estan constituidos por 4 soportes verticales solidarios al emparrillado por la prolongacion de sus armaduras. Se ha dado la forma esterior por una máscara de 12 cm. de espesor i el vacío entre los soportes i la máscara se llenó con concreto magro ordinario.

Las bóvedas son formadas por 4 vigas de 0.80 m. de ancho con altura variable ligadas entre sí por un relleno contínuo; esto forma un conjunto. Las vigas en los arranques tienen 0.80 m. de alto, en los arcos laterales; en el tramo central tiene 0.91. En la clave tiene 0.44 i 0.54 respectivamente. Las armaduras de fierro redondas de las bóvedas se prolongan en el interior de los machones (fig. 33).

El tablero tiene 8 m. de ancho en vez de 6 i las dos aceras son en volado. Se compone de un relleno jeneral de 0.15 sobre el que se ha aplicado directamente el piso de la calzada. Este relleno está reforzado por 4 vigas que corresponden a las del arco. Columnas espaceadas de dos en dos metros trasmiten al arco las cargas del tablero.

La armadura o esqueleto del tablero estan dispuestas como en los pisos ordinarios.

Toda la obra fué ejecutada en 3 meses, desde Agosto a Noviembre de 1899.

Los ensayos por peso muerto i peso rodante se hicieron durante el año 1900. En los ensayos de peso muerto, se usaron cargas hasta de 800 klg. por m^2 en vez de 400 klg. de carga prescrita, i para las aceras 600 klg. Las flechas producidas por las solicitaciones mas desfavorables, fueron de 6 mm. para el arco de la izquierda, 5 mm. para el de la derecha i 10 mm. para el del centro o sea como término para los arcos de 40 m. $\frac{1}{7300}$ de la luz i para el de 50 m. $\frac{1}{5000}$.

Quitados todos estos pesos los arcos volvieron a su posicion inicial.

Las pruebas por pesos rodantes dieron tambien resultados satisfactorios; las flechas no pasaron de $\frac{1}{90000}$ i las deformaciones fueron menores que las producidas por pesos muertos.

Los gastos fueron de 175,000 fr., sea 1,300 por m lineal i 162 por metro de superficie cubierta.

Volados.—Desde el punto de vista de los ferrocarriles los volados son importantísimo pues muchas veces se necesita pasar en alto por puntos donde no es posible apoyarse.

En los trabajos ejecutados para la línea de Courcelles al Champ de Mars, a lo largo del boulevard Pereire fué necesario establecer un volado.

En Nántes se han construido dos que son de gran interes.

Uno que se encuentra a la derecha de los silos de los «Grandes Molinos de Nántes.» Forma un saliente de 9 m. de ancho empotrado al edificio que le sirve de contrapeso. La parte volada, sobre el rio, está completamente aislada i amarrada con tirantes a cuerpos muertos colocados a la espalda i rodeados con la tierra del suelo.

Tiene 41.60 m. de largo; (fig. 34 i 35) se compone de 21 consolas de 0.30 m. de ancho, distantes 2 m. entre eje i eje i reunidas por un relleno de 0.12 m. de espesor. Las consolas sobresalen 9 m. del muro i 7.50 del pilotaje de fundacion. Estan ligadas al edificio por medio de sus armaduras i por fierros redondos horizontales que se prolongan todo el ancho de los silos.

Las pruebas se hicieron con un carro que con carga pesaba 24,000 klg. que se movia por una línea férrea, cuyo eje estaba a 5 m. de los puntos de apoyo. El momento de flexion correspondiente era de 120,000 klg. apénas poco superior al prescrito que es de 116,000 klg.

El segundo volado es el de la usina de las hullas i aglomerados de Chantenai. Tiene 60 m. de largo. Consolas de 0.4 m. de ancho espaceadas de 4 en 4 m., soportan con un volado de 6 m. un relleno jeneral de 0.10-0.15 m. reforzado por 4 vigas paralelas a la costa. Las consolas estan bien amarradas a un muro malecon, de cemento armado, con 4.m60 de alto que se apoya mediante un emparrillado o suela de 0.20 m. de espesor sobre dos filas de pilotes distantes de 1.32 m. uno de otro.

Tirantes de cemento armado de 5 a 6 m. de largo ligan el muro del malecon con cuerpos muertos enterrados en el suelo (figs. 36 i 36_0).

La construccion de este volado i malecon ha dado lugar a incidentes i discusiones que son de provecho.

El muro del malecon debia tener 136 m. de largo, 45 m. aguas arriba, 60 al costado del volado i 31 aguas abajo (fig. 37).

En la parte *E F* el muro se arqueó, con una flecha de 0.23 m.

Entre *A* i *B* una parte del muro se cayó.

El volado que habia resistido perfectamente a las pruebas estaba en servicio. Por precaucion, el descargue se suprimió i no se reanudó hasta que la obra no estuvo completamente terminada i ensayada de nuevo.

Cuando se quitaron las tierras se constató que algunos tirantes habian cedido lo que demostró que no eran suficientemente resistentes; reforzados estos no se ha producido ningun accidente.

Tambien se constató que el volado recibia choques anormales, debidos a un tope contra el cual se estrellaban los wagones cargados de ladrillos.

En la parte *A B* se creyó poder, sin inconveniente, reducir de 0.50 m. la lonjitud de los pilotes i avanzar 1 m. en el rio para agrandar el terraplen (fig. 38).

Debido a la inclinacion mui rápida del fondo la flecha quedó mui reducida i han cedido.

Muros de sostenimiento.—El empleo del concreto armado da, para los muros de sostenimiento, una solucion mui elegante. Una hermosa aplicacion se hizo en el malecon Debilly en la Esposicion de 1900.

El principio es mui sencillo; el espesor del muro se reduce considerablemente, pero sólidamente armado, i la estabilidad se mantiene por medio de contrafuertes bien ligados al muro i a emplantillados horizontales mui resistentes sobre los cuales obra el peso de las tierras. Cuando la altura del muro es mui pequeña no hai mas que un emplantillado inferior; pero si la altura es mayor que 3 m. es preciso ligar los contrafuertes a otros emplantillados de un ancho doble i colocados mas atras que el inferior a la mitad de la altura.

La plantilla inferior se prolonga hácia adelante del muro i se liga a él por pequeños contrafuertes, prolongacion de los posteriores al muro.

En el malecon Debilly (fig. 39) los muros fueron calculados no solo para resistir al

empuje de las tierras, sino tambien para resistir a una carga de 600 klg. por m.^{3} i a la pasada de un rodillo compresor de 19 tons. por metro de arista.

Con alturas iguales los muros de sostenimiento de concreto armados son mas económicos que los de albañilería, debido a la diferencia en los cubos de material.

No solo tiene esta ventaja económica, que en Chile no la tienen, sino que la presion sobre el suelo no es tan grande como en el caso de la albañilería que debe tener una masa relacionada con la presion de las tierras. Se puede decir que en el concreto armado la presion sobre el suelo se reduce al peso del terraplen i por consiguiente se pueden construir muros de sostenimiento en los casos en que por la naturaleza del suelo el peso de la albañilería seria un obstáculo.

El muro de malecon construido cerca de Chantenay en la usina de las hullas i aglomerados, es una de las primeras aplicaciones de este principio. Tiene una plantilla inferior i contrafuerte, pero la plantilla intermedia está reemplazada por un anclaje con cuerpos muertos.

Aplicaciones especiales.—En este párrafo he reunido algunas aplicaciones del cemento, que son importantes por la clase de problema que han venido a resolver.

En Périgueux (departamento de la Dordogne), cerca de la estacion, un pasaje inferior del ferrocarril era salvado por un puente carretero de 8 m. de luz i 3 de ancho i dos aceras voladas de 0.5 m. El tablero estaba formado por dos vigas enrejado de 0.5 m. de alto, 7 travesaños de palastro con fierros de ángulos que sostenian un piso de madera de 14 consolas que recibian las aceras.

Por su situacion cerca de la estacion donde debian estacionarse las locomotoras, la obra estaba espuesta a emanaciones sulfurosas, i por consiguiente tanto las vigas princiles como los travesaños fueron tan corroidos que fué necesario impedir todo tráfico por él. Un puente de albañilería no se podia construir porque lo impedian los niveles de la via, así que era necesario hacer otra obra metálica que sufriria la misma suerte; el cemento armado se imponia, i con él se consiguió con pocos gastos un resultado mui satisfactorio.

Las vigas, travesaños i consolas fueron sumerjidas en concreto i ademas se agregaron barras redondas i estribos. Las vigas enrejado se trasformaron en vigas de cemento de 0.30 m. de ancho i los travesaños en nervios de cementos de 0.12 m. de ancho. Un relleno jeneral de 0.12 de espesor completó el conjunto de la obra.

El viaducto de Goas-Cadeau, entre Guingamp i Morlaix, en la línea de Rennes a Brest, que es una obra de 10 m. de luz, compuesta de tres arcos de fundicion, ligados por travesaños en forma de *T* i por vigas enrejado, ha sido reforzada de un modo análogo por el cemento, pues ya no cumplia, en cuanto a la resistencia, con los últimos pliegos de condiciones. Así se tuvo una solucion mas barata que la construccion de un puente nuevo.

Pero uno de los problemas mas curiosos, resuelto satisfactoriamente por el cemento armado es el que se presentó cerca de Nantes, para la construccion del ferrocarril del Anjou.

En uno de los puentes, se habia adoptado para que pasaran tres líneas, 2 de 1.51 i 1 de 1, el sistema de 3 rieles. Cuando aumentó el tráfico fué necesario separar las tres lí-

neas, pero el puente era mui angosto, así que el ancho fué aumentado por dos consolas de cemento armado. Para esto se colocaron vigas de cemento armado de 10.80 de largo espaceadas de 3.85 de eje a eje. Estas vigas sobresalian de los paramentos vistos del puente. Las vigas estan ligadas unas con otras por medio de un relleno reforzado, de 0.1 m. de espesor i 3 m. de ancho a cada lado del puente; este relleno recibe el lastre, constituye las aceras i sostiene las barandas (figuras 40 i 40 *a*).

Tambien se han hecho aplicacioues para trasmisiones telodinámicas, pero son de poca importancia.

Otra aplicacion reciente del cemento armado son las chimeneas.

Una chimenea ha sido construida en Bayona (New-Jersey), tiene 45.60 m. de alto i un espesor mínimo de 0.30 m. i ha resistido a varios golpes de viento.

Otra de estas construcciones es la hecha en Elisabeth-port por la Singer C.°. Mide 38 m. de alto con un diámetro inferior de 2.70. Su peso es de 250 tons., lo que da una presion en la base de 10 klg. por cm.^{2} Para el estudio de la estabilidad se ha tomado una presion al viento de 100 klg. por m.^{2} de proyeccion vertical.

La mezcla empleada fué de 1 de cemento Portland, 3 de arena i 5 de guijarros charcados i pasados por un tamiz de 20 mm. La mezcla se hizo a máquina.

Se principió por hacer una plataforma de la mezcla, de 0.75 m. de espesor en la que se sumerjieron barras de fierro radialmente, segun el sistema Ransom, o sea barras torcidas, de seccion rectangular.

Sobre esta plataforma se ha construido la chimenea propiamente tal, compuesta de dos muros anulares de cemento armado. El muro interior es el mas delgado; su espesor varia entre 75 i 100 mm; el muro esterior tiene desde 75 a 225 mm de espesor. La armadura consiste en círculos de fierro cuadrado de 12.5 mm. dispuestos a 0.75 m. unos de otros (fig. 41).

Para construir estos muros se empleó un molde especial, construido como se ve en las figuras. Se compone de dos envolturas concéntricas, de madera, sostenidas por tirantes de fierro, con tornillos que calzan en tuercas de volante, sostenidas por las vigas superiores *V* de un andamiaje construido al mismo tiempo que la chimenea. Al principiar se colocó este molde sobre la plataforma de fundacion, despues se llenó de cemento, dejando el espacio anular entre los muros por medio de un núcleo de madera con la forma adecuada.

Una vez lleno el molde se subió el andamio de algunos metros i por medio de las tuercas volantes se levantó el molde 1.50 i así en seguida colocando anillos de fierro. Este movimiento se efectúa facilmente colocando un hombre en cada tuerca de volante.

Como el molde tiene 3.66 de alto estaba perfectamente guiado por su parte inferior.

Cuando la boca de entrada quedó libre se subieron los materiales por el interior de la chimenea.

La forma del chapitel se consiguió por medio de un molde de yeso.

Cada hilada de 1.50 representa el trabajo de un dia i estan separadas unas de otras por dos hiladas de ladrillos de cemento que aparecen en los paramentos vistos como decoracion.

Finalmente, barrillas de 20 mm. pasan desde la base hasta la cúspide como se puede ver en el corte.

En el establecimiento industrial de la Plymouth Cordage Company se ha construido otra chimenea que tiene 67 metros de alto i 2.45 de diámetro interior, i descansa sobre un macizo de concreto de 11.60 m. en la base. Las paredes son huecas, el tabique interior es completamente vertical i el esterior se compone de troncos de cono con diferentes inclinaciones. La parte inferior del chapitel está cubierta con planchas de fierro, tiene una baranda i se llega a ella por una escalera embutida en el tabique interior de la chimenea.

Esta chimenea sirve a jeneradores de 2,200 caballos.

Finalmente se han propuesto hasta durmientes de cemento armado, pero no sé que resultado se ha obtenido.

Como se ve, el cemento armado tiene muchas i mui importantes aplicaciones en todos los ramos de la injeniería.

JOSÉ LÓPEZ LÓPEZ.

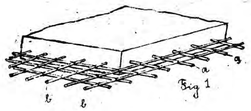


Fig 1

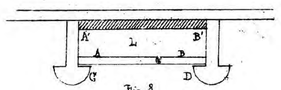


Fig 8

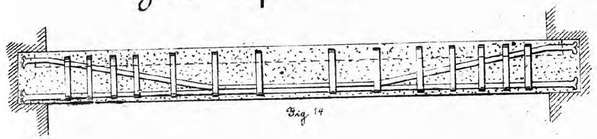


Fig 14

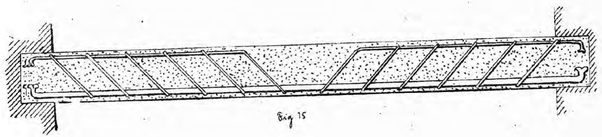


Fig 15

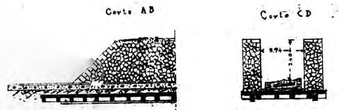


Fig 22

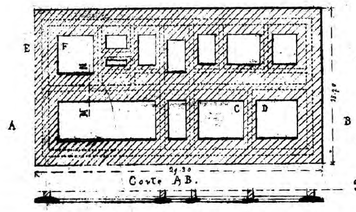


Fig 20

Fig 2

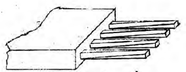


Fig 9

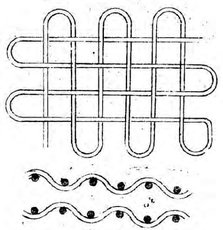


Fig 4

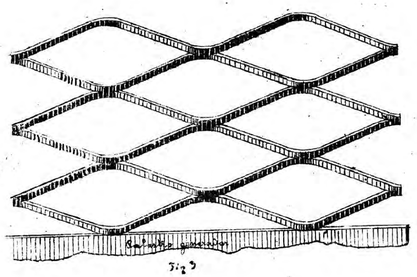


Fig 5

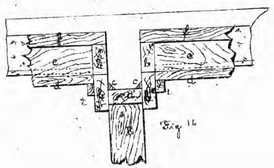


Fig 16

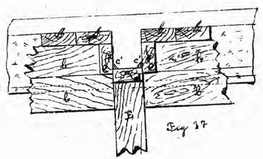


Fig 17

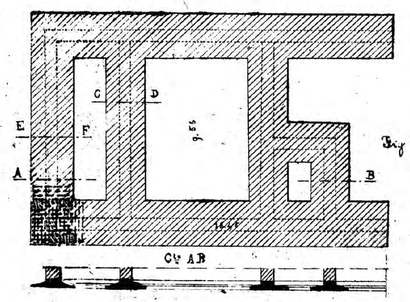


Fig 21

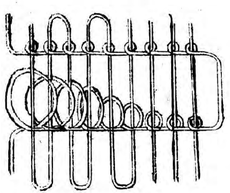


Fig 7

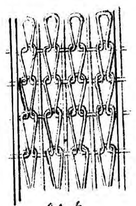


Fig 6

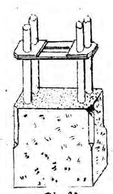


Fig 10

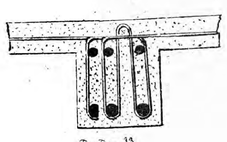


Fig 13

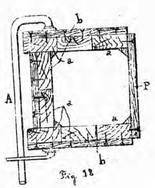


Fig 18

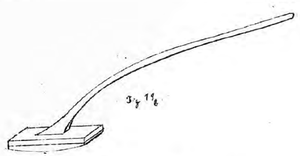


Fig 19

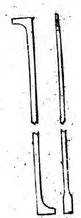


Fig 19a

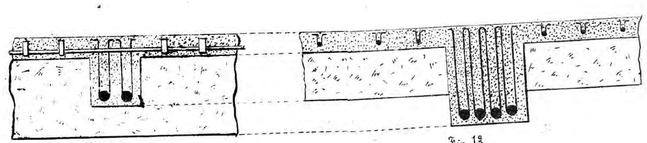


Fig 11

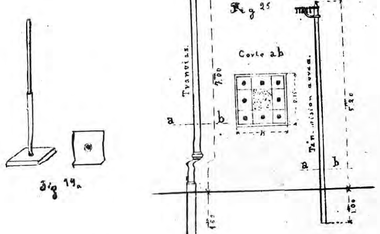


Fig 12

Fig 25

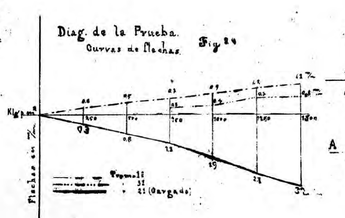


Fig 24

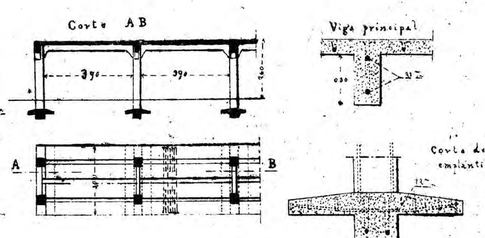


Fig 23

Jose López L.

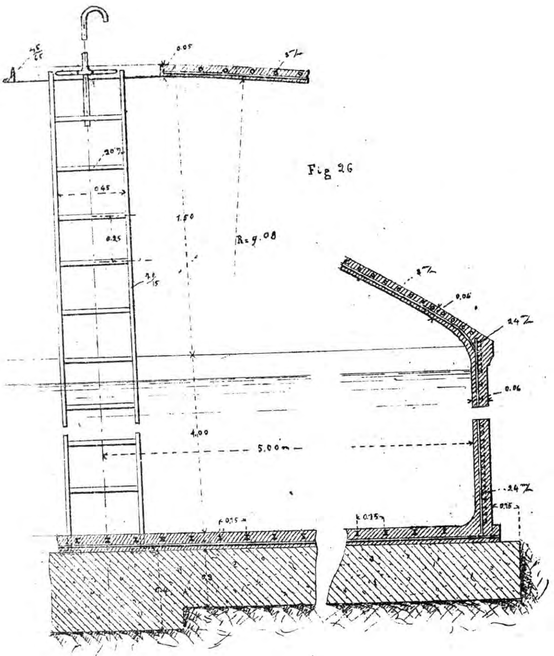


Fig 26

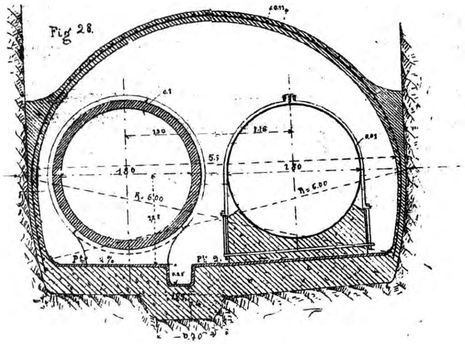


Fig 28

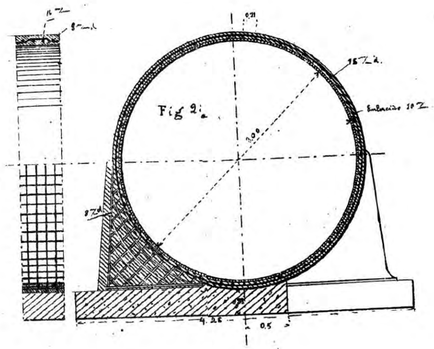


Fig 28

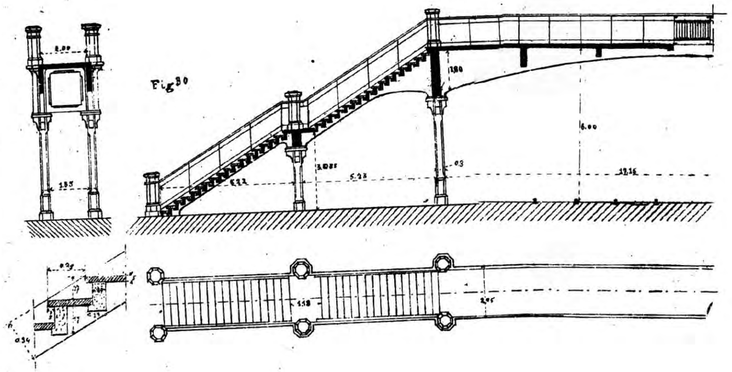


Fig 30

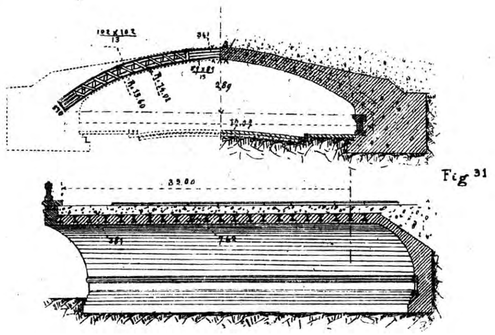


Fig 31

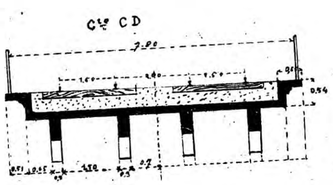


Fig 29

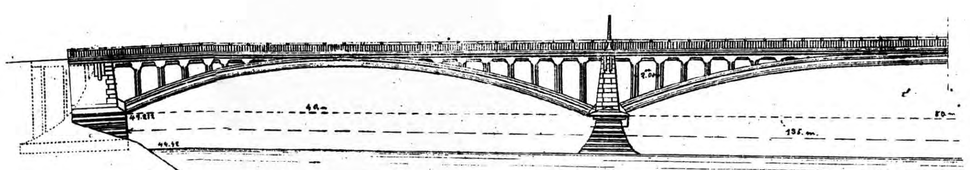


Fig 32

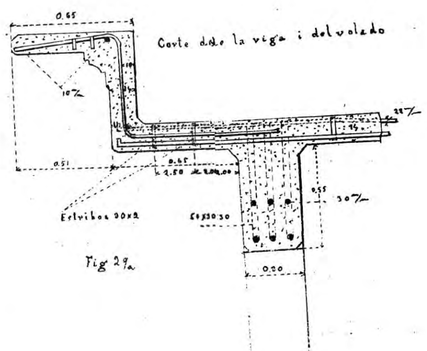


Fig 28a

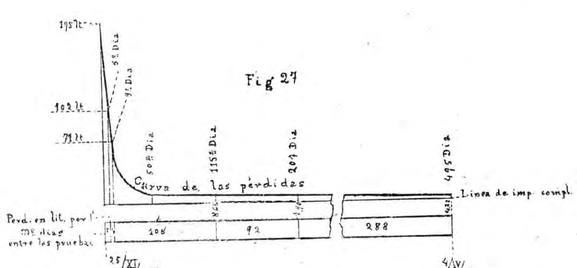
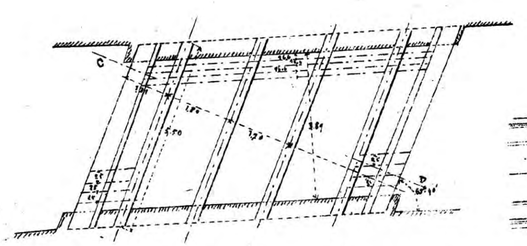
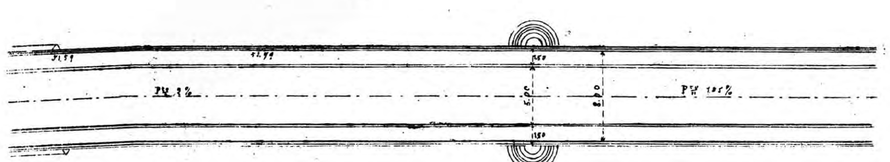


Fig 27





Pila de Puente

Jose López L.

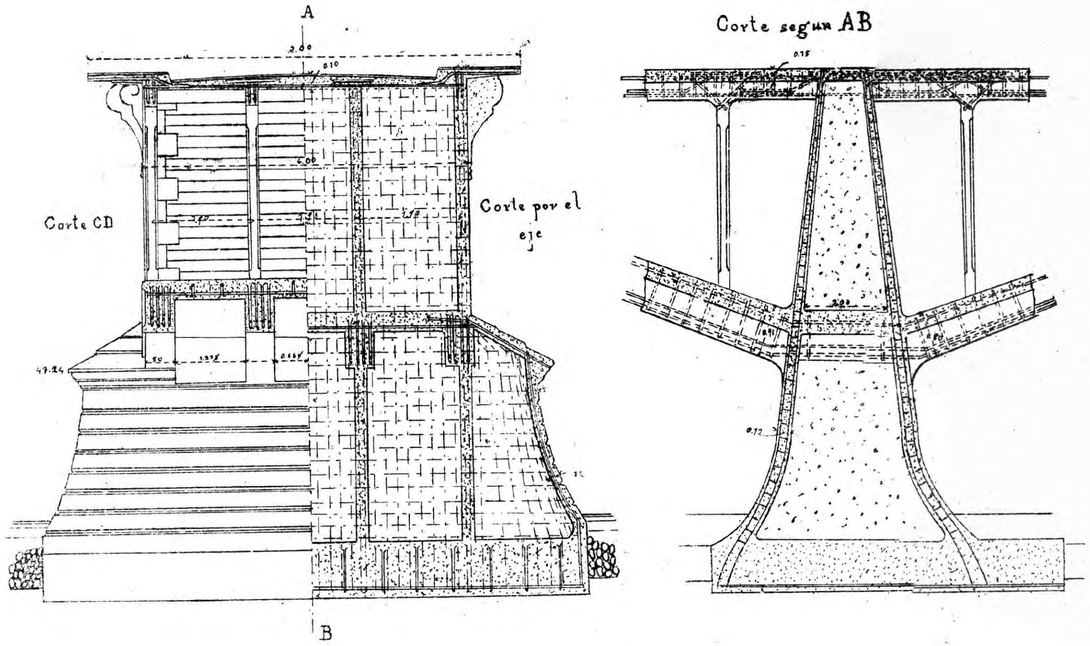
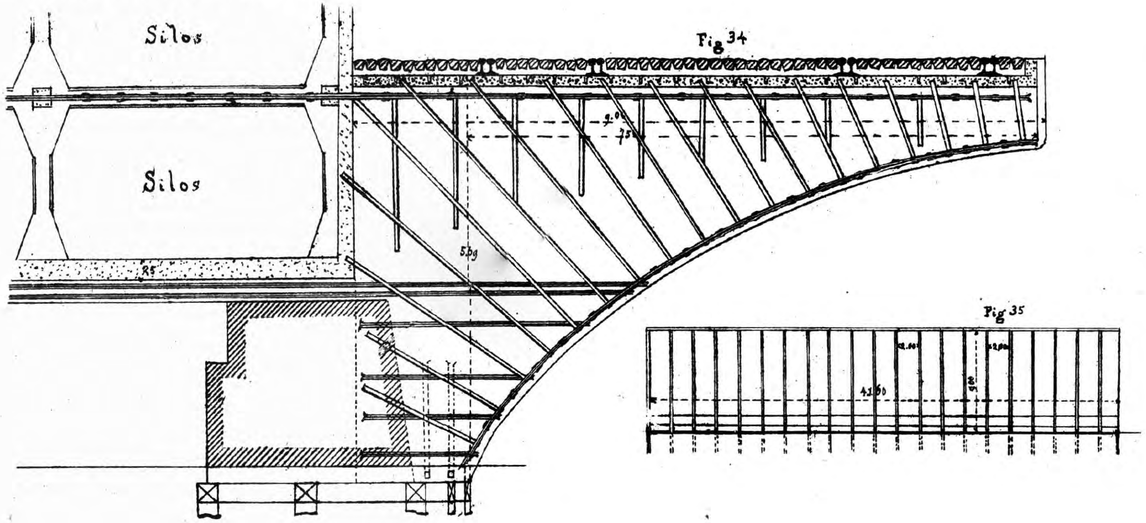
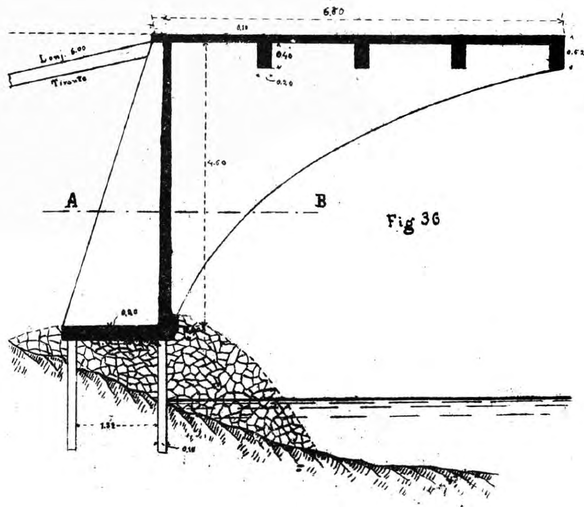
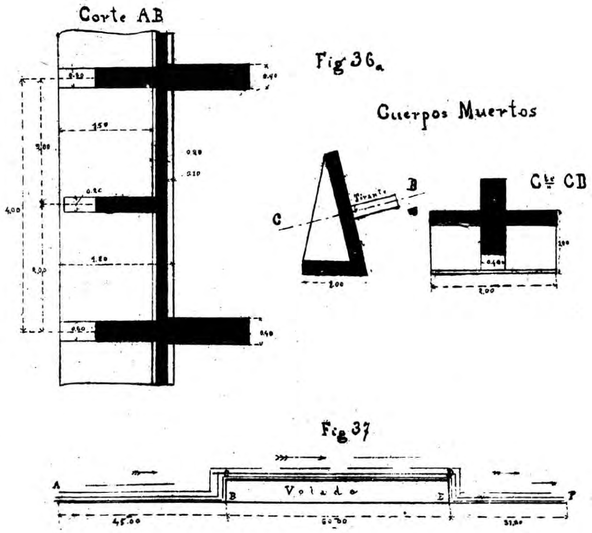


Fig. 33

CEMENTO ARMADO







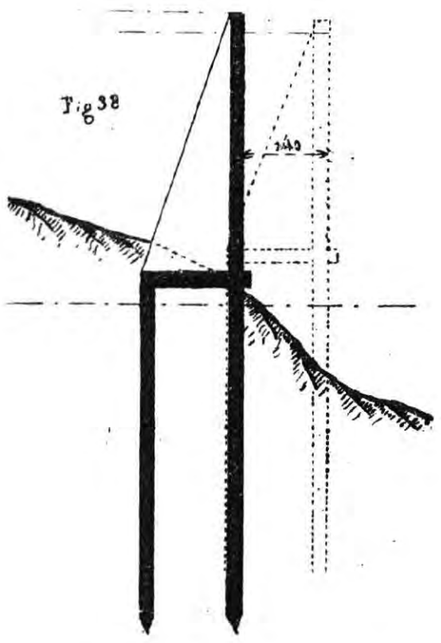
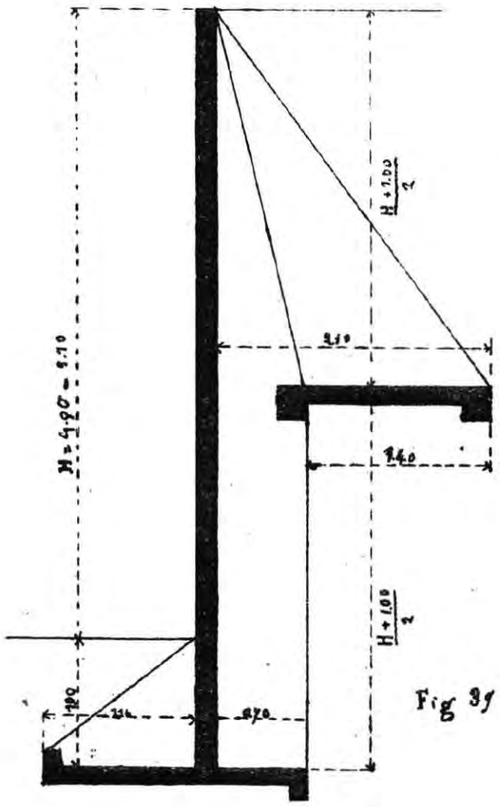
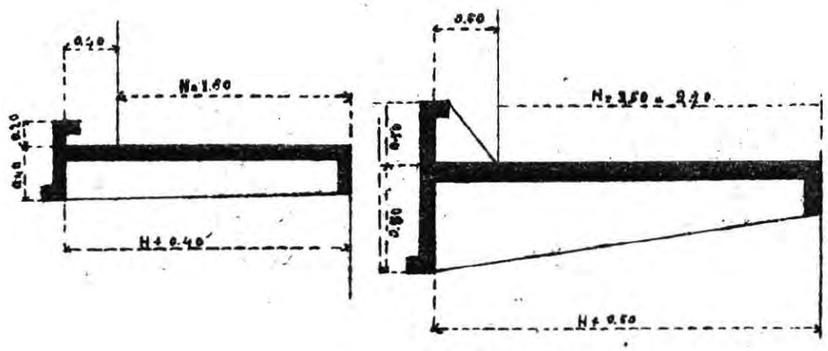
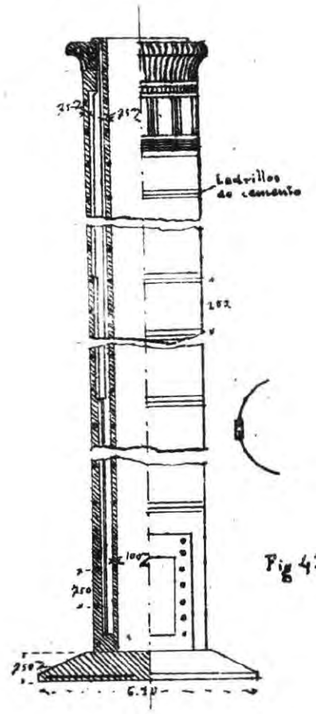
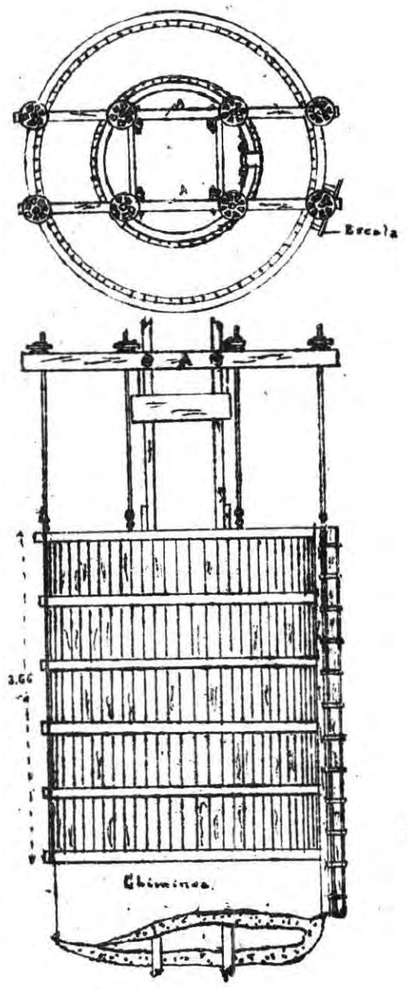


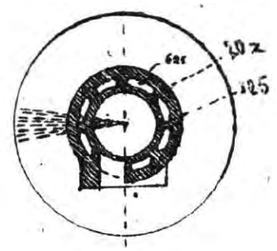
Fig 38
1.40


H=4.90 - 1.10
H=1.00
2.10
1.40
0.70
1.20
Fig 39


0.40
H=1.60
H=2.50 - 0.40
H± 0.40
H± 0.50


Ladrillos de cemento
Fig 41


Escala
Chimenea


50 x
125

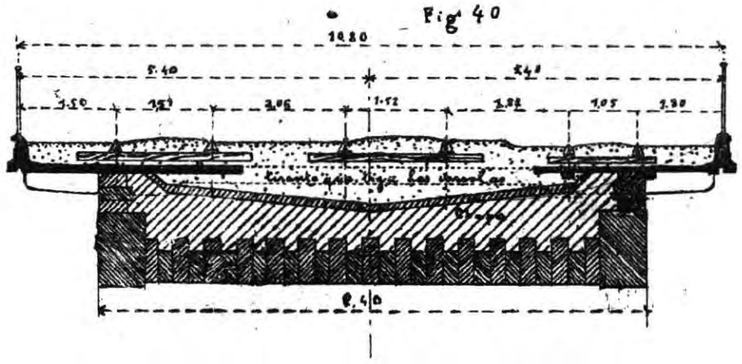
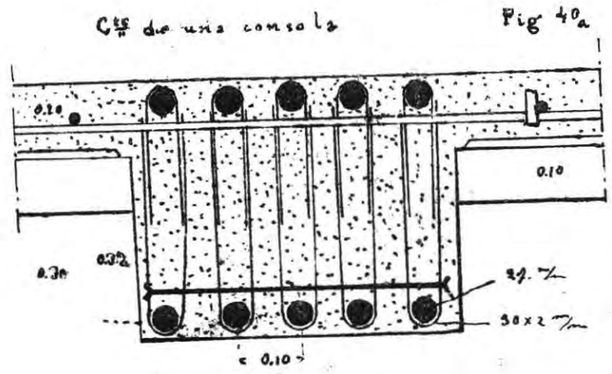
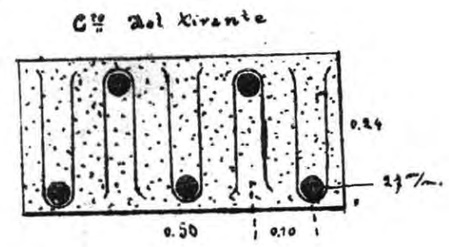


Fig 40
12.80
2.40
2.40
1.50
3.05
1.52
2.82
1.05
1.30
0.40


Cte de una consola
Fig 40a
0.10
0.10
0.30
0.30
23 ⌀
3 ⌀ x 2 m/m
≤ 0.10


Cte del tirante
0.24
23 ⌀ m/m
0.50
0.10