

CAPITULO III

Hormigón armado

- § I — GENERALIDADES. — Definición. — Idea elemental del trabajo en el hormigón armado. — Reseña histórica.
- § II — CLASIFICACIONES. — Hormigón armado. — Cemento armado. — Hierro hormigonado. — Hormigón zunchado. — Metal desplegado. — Tejidos metálicos. — Sistemas mixtos de metal y hormigón.
- § III — DISPOSICIONES CORRIENTES DE LAS ARMADURAS. — Sistemas. — Clases del hierro. — Armaduras en vigas y forjados. — En pilares y pilotes. — En bóvedas. — En tubos o depósitos circulares.
- § IV — EJECUCIÓN DE LAS OBRAS. — Condiciones facultativas oficiales. — Arena. — Proporciones de arena y piedra. — Moldes. — Preparación y empalme de las barras. — Moldeo del hormigón. — Descimbramiento.
- § V — VENTAJAS DEL HORMIGÓN ARMADO. — Economía. — Duración. — Solidaridad y rigidez. — Elasticidad. — Incombustibilidad. — Dilataciones. — Impermeabilidad. — Ventajas higiénicas. — Resistencia a los ácidos. — Condiciones estéticas. — Rapidez de ejecución. — Objeciones que se han hecho al hormigón armado. — Resumen.

§ I — GENERALIDADES

Definición.—El hormigón armado es un sistema de construcción que reúne las ventajas de la piedra y el hierro y suprime los inconvenientes de ambos materiales.

La piedra resiste bien a la compresión; los metales, al estiramiento o extensión.

A la primera le faltan la elasticidad y las fibras, al segundo, masa, y el hormigón armado ha venido, por un extraño consorcio, a formar un nuevo material heterogéneo en su composición, pero homogéneo en su resistencia, *pues se le dan fibras a la piedra, al mismo tiempo que se aumenta considerablemente la masa del hierro.*

Es verdad que la mezcla del hierro con el cemento, llevaba consigo tres incógnitas que solo la experiencia y el tiempo pudieron desvanecer.

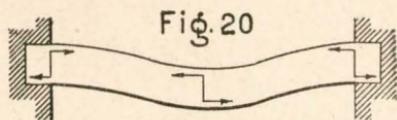
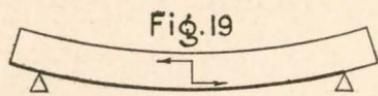
Parecía que el hierro debiera oxidarse dentro de una masa húmeda durante el fraguado del cemento, y más o menos permeable siempre.

No se creía tampoco que hubiese adherencia completa y, en todo caso, suficiente, entre el metal y el mortero.

Por último, existió el temor de que las influencias de temperatura, que se suponían diferentes en el hormigón y en el hierro, habrían de disgregar la masa.

Pero a estas tres incógnitas la experiencia ha contestado satisfactoriamente: el hierro aprisionado por el hormigón, no solo no se oxida, sino que se emancipa en parte de esta causa de ruina que amenaza las construcciones metálicas más robustas; la adherencia entre las dos substancias es, no solo perfecta, sino que considerable, proviniendo de la fricción producida por la contracción del fraguado; y no ha disminuído por cambios de temperatura mucho más elevados que los que en la práctica pueden producirse, por efecto de la casi igualdad de los coeficientes de dilatación del cemento y del hierro.

Idea general del trabajo en el hormigón armado. ⁽¹⁾ — En toda pieza apoyada o empotrada por sus extremos, se producen momentos flectores, que son pares que determinan esfuerzos de compresión y de tensión en las piezas; así por ejemplo, en las

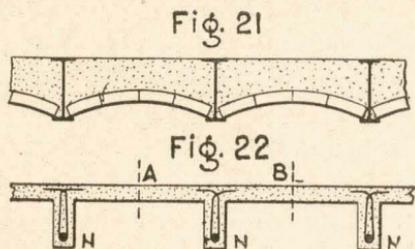


vigas de la Fig. 19 (pieza apoyada por sus extremos) las compresiones se verifican en la parte superior y las tensiones en la parte inferior, mientras que en los extremos de la Fig. 20 (pieza empotrada por sus extremos) se

invierte el sentido de los esfuerzos, produciéndose compresiones en la parte inferior y tensiones en la parte superior.

(1) Las teorías científicas y completas del hormigón armado, deben estudiarse en el libro del Sr. Zafra «Construcciones de hormigón armado».

Cuando se construyen los pisos o tableros de los puentes, con vigas de hierro unidas entre sí por bovedillas o forjados de hormigón, como la Fig. 21, la resistencia del piso del tablero está únicamente confiada a las vigas o viguetas metálicas que



tienen que resistir todos los esfuerzos de tensión o compresión que en ella determinan los momentos flectores; las bovedillas y hormigón de relleno, no solo no contribuyen a la resistencia del conjunto, sino que por el contrario,

por su peso muerto considerable, obligan a dar más sección al entramado de hierro.

Si disponemos los pisos o tableros como se representa en la Fig. 22, substituyendo las vigas metálicas por nervios de hormigón armado $N N$ que lleven en su parte inferior las barras de hierro necesarias para resistir a los esfuerzos de tensión, se observa que el hormigón que constituye el tablero o forjado de estas vigas, puede absorber la compresión que se produce en esa parte; se ve pues, que merced a este artificio, se transforma un forjado, que antes era solo peso muerto, en elemento resistente del tablero.

Se economiza así una gran proporción de metal, que antes tenía por sí solo que resistir a los esfuerzos de compresión, que son absorbidos en cada viga, por la parte del forjado $A B$, transformada en cabeza de compresión de la viga.

Pues bien, aplicando este mismo principio a todos los elementos constructivos que se necesitan y colocando hierro donde haya tensión y confiando al hormigón los esfuerzos de compresión, se obtienen disposiciones constructivas más racionales que los entramados metálicos.

En pilares y bóvedas, casi exclusivamente sometidos a esfuerzos de compresión, las armaduras colocadas en sentido longitudinal, estarán también comprimidas, pero como quedan aprisionadas dentro del hormigón, no sufren los efectos del pandeo, con lo que se consigue que puedan trabajar a igual coeficiente que a tensión.

Reseña histórica.—Es el hormigón armado un invento, que ha venido a revolucionar el arte de la construcción.

Como siempre ha ocurrido, los prácticos, los artistas constructores, como deben llamarse, han sido los precursores.

Los sabios, que no regatearon al principio sus ironías, cuando no sus vetos y sus fatídicos vaticinios, tuvieron que aceptar los resultados evidentes.—Y solo entonces encontraron teorías que sancionaran las audacias de los constructores.

Los hombres de ciencia, fueron una vez más a la zaga, de los hombres de acción.

El jardinero francés Monier, fué el primero que desde 1868 empleó la mezcla del hierro y del mortero de cemento, para tubos y depósitos de agua.—Pero las aplicaciones del nuevo material no se extendieron sensiblemente hasta que su compatriota Hennebique, industrializó el sistema, desplegando por el mundo entero una legión de concesionarios de sus patentes.

En España ocurrió lo mismo.

Ya en 1894, el Ingeniero don José Nicolau, había hecho ensayos de traviesas con carriles viejos anegados en hormigón y poco después el Arquitecto Durán y el Ingeniero militar Maciá, construyeron algunas obras, sobre todo tubos y depósitos, por el sistema Monier.

Seducido yo por Hennebique, cuyas obras tuve ocasión de visitar en un viaje a Suiza, en 1894 hice un experimento en Oviedo, que me convenció, y como concesionario de Hennebique empecé a construir numerosos pisos, depósitos y puentes y a publicar artículos, tolletos y conferencias.

Poco después, mis compañeros Rebollo y Colás, con sus obras, y los Ingenieros militares Unciti, Benítez y Gallego con sus Revistas *El cemento armado* y *La construcción moderna* contribuyeron a propagar el sistema en España.

Pronto hube de liberarme de Hennebique, cuya tutela resultaba cara y molesta y emprendí importantes obras adjudicadas mediante reñidos concursos de Proyectos, con disposiciones propias, entre las que citaré los Puentes de María Cristina (San Sebastián), de Valencia de Don Juan (León), de Alfonso XIII (Canarias), los muros divisorios y cubiertas del tercer depósito de Madrid.

El trágico hundimiento de esta última obra, con la inmensa pesadumbre de un proceso ruidoso, (1) no arredró mis convicciones y pronto pude rehabilitar al hormigón armado con el triunfo constructivo que conseguí en los sifones del Sosa y de Albelda, que hasta el año pasado fueron los mayores tubos del mundo, y con el éxito de centenares de puentes y otras obras que han sancionado definitivamente el hormigón armado en España.

Mientras tanto, vino a reforzar nuestra campaña en pro del hormigón armado, la convicción científica y las aplicaciones constructivas de nuestro malogrado e ilustre compañero Zafra, que consiguió nacionalizar las teorías del hormigón armado, con sus geniales libros (2) y sus enseñanzas en nuestra Escuela, que tan merecidamente le llevaron a la Academia de Ciencias.

Hoy, no se discute ya en España el hormigón armado, y son innumerables las aplicaciones hechas.

Básteme decir, que por mi parte, he construído más de 400 tramos o arcos de puentes por este sistema, no solo para carreteras y canales, sino para ferrocarriles, y que su empleo se ha generalizado a todas las obras públicas de España.

§ II — CLASIFICACIONES

Hormigón armado.—Se aplica este nombre a las construcciones en las que se hace trabajar simultáneamente al hormigón y al hierro engarzado en su masa.—Las armaduras metálicas pueden trabajar a tensión, como en las vigas y losas planas, o a compresión como en los pilares y bóvedas.

Cemento armado.—Suelen llamarse, aunque impropriamente, de *cemento armado*, aquellas obras, en que como las tuberías a presión interior y ciertos depósitos circulares, el hierro soporta todos los esfuerzos de tensión a que están sometidos y el mortero de cemento que le envuelve, solo tiene por objeto dar rigidez e impermeabilidad a las construcciones.

(1) Permitaseme que aquí rinda un homenaje de agradecimiento al insigne Echegaray, que tan calurosa como eficazmente contribuyó con su prestigiosa autoridad, a mi absolución en aquel proceso.

(2) *Construcciones de hormigón armado*—Madrid 1911.—2.^a edición, Madrid 1923.—*Cálculo de estructuras*—Madrid 1917.

Hierro hormigonado.—Se aplica este nombre, cuando las armaduras metálicas están constituidas por viguetas del comercio o vigas armadas que resisten *por sí solas*, todos los esfuerzos y en las que el hormigón que las envuelve, solo desempeña un papel de preservativo del hierro contra la oxidación o el fuego.

Hormigón zunchado.—Aplicamos el nombre de *hormigón zunchado*, a la disposición inventada por el ilustre Ingeniero Mr. Considere, que consiste en hacer trabajar los hierros a tensión, aún en piezas comprimidas.

Si, por ejemplo, en un pilar o pilote, Fig. 23, soportando una carga, se dispone la armadura principal en forma de hélice, es evidente, que esta espiral, trabajando a tensión, se opondrá a la expansión transversal del hormigón comprimido.—Las barras longitudinales son entonces secundarias, y tienen por misión principal arriostrar la armadura helizoidal, durante el apisonado del hormigón.

Esta elegante solución, que teóricamente ofrece la ventaja de que las armaduras trabajen a tensión, se aplica también a las bóvedas.

Pero aunque teóricamente parezca preferible, en la práctica encuentran los constructores ciertas dificultades de ejecución; sus aplicaciones son pues limitadas.

Fig. 23

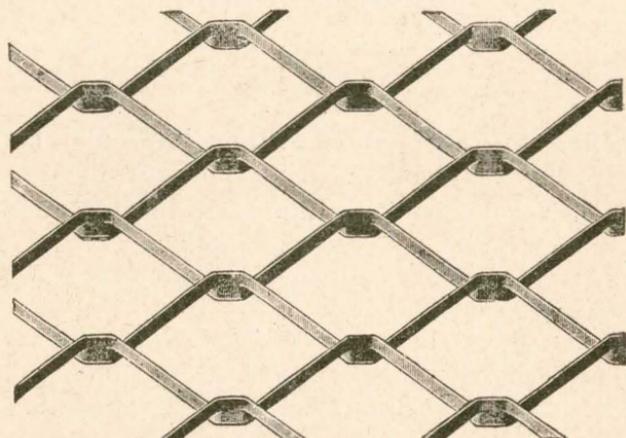
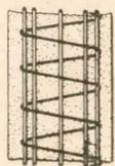
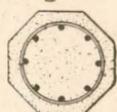


Fig. 24. — Metal desplegado.

Metal desplegado.—Ha estado durante algún tiempo de moda, el empleo de lo que se ha llamado *metal desplegado* (Fig. 24), que se obtiene en fábrica por medio de

la extensión de chapas de palastro recortadas y estiradas, transformando las chapas en una red de rombos inclinados a 45° , con lo que se consigue dar al palastro una extensión mucho mayor y bastante rigidez; pero este invento que se suponía aplicable con frecuencia al hormigón armado, no suele emplearse hoy más que para cierres de cercas y puertas.

Tejidos metálicos.—También se ha preconizado el empleo de los tejidos metálicos corrientes para los forjados de hormigón, pero su empleo resulta caro, por ser más económico armar los forjados con simples redondos del comercio.

Sin embargo, pueden tener alguna aplicación estos tejidos metálicos (que no deben entonces galvanizarse), empleándolos como envolventes de fuertes armaduras, para asegurar así la adherencia del hormigón a esas gruesas barras.

Sistemas mixtos de metal y hormigón.

—Cuando el hormigón solo envuelve la cabeza superior de las vigas armadas (Figura 25), se consigue una economía de metal, pues no solo se suprime la costosa placa bombeada, sino que la cabeza superior de las vigas, que trabaja principalmente a compresión, solo tendrá el hierro necesario para soportar el peso propio de vigas y forjado.—En cambio la cabeza inferior, llevará el número de chapas que exija la curva de momentos. (1)

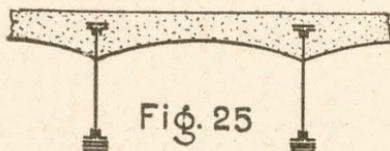


Fig. 25

También puede emplearse otro sistema mixto de tableros metálicos y losas de hormigón armado, apoyadas estas sobre el entramado, en substitución de las placas bombeadas; sobre dichas losas se coloca directamente el pavimento de asfalto o adoquinado de la calzada.—Así lo hemos hecho en el Puente colgado de Amposta (2) (Tarragona), y en el de Triana (Sevilla), lo que nos ha permitido aligerar sensiblemente el peso del tablero, aumentando al mismo tiempo la rigidez del puente.

(1) El autor de esta disposición, Mr. Pendaries que la denomina *metal armado*, la ha aplicado con éxito en un puente para carretera de 30,25 metros de luz.—Annales des Ponts et Chaussées—1908—VI—pag. 64—Ponts lourds et ponts légers.—Las pruebas de este puente han evidenciado que el hormigón no se despega de las vigas,

(2) *Revista de Obras Públicas* de 22 y 29 Octubre 1914.

§ III — DISPOSICIONES CORRIENTES DE LAS ARMADURAS

Sistemas.—Son innumerables ya los sistemas que se han empleado en todos los países del mundo, habiendo los constructores imaginado disposiciones, unas veces racionales, otras caprichosas, para poder someterlas a patente y ejercitar con su explotación monopolios más o menos amplios.

Hoy día, casi todos estos sistemas, son del dominio público, por haber expirado los plazos de las patentes, y los experimentos de los Laboratorios y de los constructores por un lado, y las teorías cada vez más afinadas de los sabios por otro, han llegado a generalizar las disposiciones más prácticas, que se adoptan con entera libertad.

No nos ocuparemos pues de describir los diferentes sistemas, que solo tienen un interés histórico y que por otra parte, están detallados en todos los libros dedicados especialmente al hormigón armado.

Clases de hierros.—Las armaduras están generalmente constituidas por aceros dulces redondos, y algunas veces flejes, angulares y viguetas o vigas armadas, a las que se puede dar rigidez previa mediante roblones y tornillos.

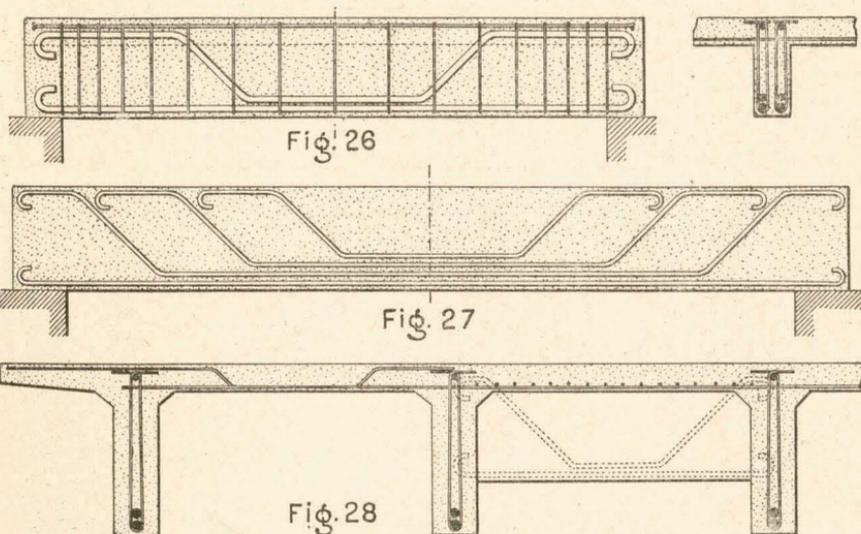
En los Estados Unidos, se fabrican barras especiales con estrías y salientes diversos, que se pretende ofrecen la ventaja de aumentar la adherencia; pero las barras redondas corrientes, tienen la suficiente en la práctica y son más económicas.

Algunos Ingenieros preconizan el empleo de aceros especiales muy resistentes o de fuertes alambres o cables trefilados, que permitirían la reducción de secciones.—Pero no parece, por ahora al menos, que esto convenga, pues no solo se necesita resistencia, sino superficie adherente.

Armaduras en vigas y forjados.—En las figuras 26 á 28 se representan las disposiciones más frecuentemente empleadas en las vigas, viguetas y forjados.

Como se ve, los extremos de las barras sometidas a la tensión, terminan en ganchos, con lo que se aumenta en gran proporción la resistencia de los mismos.

Como por otra parte, en los extremos de las vigas de hormigón armado, los momentos flectores disminuyen y hasta cambian de zona cuando estas vigas están más o menos empotradas, se doblan las barras de tensión para llevarlas a la parte superior de las vigas, donde hay siempre tensiones en los apoyos, con lo cual quedan además en disposición de hacer frente a los esfuerzos cortantes.



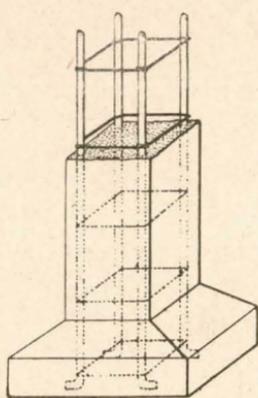
Las barras principales de vigas y viguetas, se solidarizan con los forjados, por medio de *horquillas* verticales, que además de arriostrar el conjunto de la armadura, resisten a los esfuerzos cortantes.

En los forjados no suelen ponerse horquillas, sino cuando tienen que resistir cargas considerables,

Cuando los forjados sobresalen en voladizo sobre las vigas, sus armaduras tienen que pasar a su parte superior, que es donde entonces se producen las tensiones. (Parte izquierda de la figura 28).

Armaduras de pilares y pilotes.—Se emplean dos disposiciones.—En la más comunmente usada (Figura 29), las barras

Fig. 29



principales se disponen a lo largo del pilar y se arriostran con cercos de redondos de 4 a 6 mm., a distancias que varían de 10 a 25 centímetros.

Si en vez de apoyar las armaduras sobre una zapata, como en la figura 29, se reúnen en punta en su extremo inferior como en la figura 30 y se añade a ésta un azuche de hierro, se obtiene un pilote de hormigón armado, que puede hincarse en el terreno, con fuertes golpes de una pesada maza, movida mecánicamente, que mediante ciertas precauciones, no desagrega el hormigón de esos pilotes. (1)

En la Fig. 30, las armaduras resistentes, son las que constituyen la espiral directriz que trabaja a tensión; es un pilote de *hormigón zunchado*, sistema Considere, que anteriormente citamos.

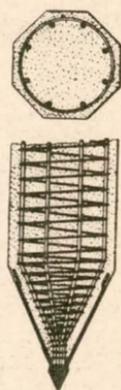
Armaduras de bóvedas.—La mayor parte de los Ingenieros las constituyen con barras redondas, dispuestas en las inmediaciones del intradós y trasdós de las bóvedas, Fig. 31, y que se arriostran entre sí con cercos de redondos más delgados.

También cuando las compresiones son elevadas y se quiere aligerar el peso de los arcos, puede zuncharse la armadura, Fig. 32, en la misma forma que acabamos de ver para los pilotes.

Pero las armaduras en ambas disposiciones, no tienen rigidez propia, ni contribuyen a la resistencia de los arcos hasta que el hormigón que ha de envolverlas esté endurecido.—Exijen, pues, para su construcción, el empleo de cimbras y moldes muy rígidos y costosos.

El autor ha preferido y empleado siempre armaduras rígidas, formándolas con viguetas corrientes de doble T de alma llena, Fig. 33, o con vigas armadas, Fig. 34, (página 66).

Fig. 30



(1) El empleo de estos pilotes de hormigón armado, se generaliza cada día más en la construcción, bien sea para constituir la base de los pilares de igual sección, bien sea como apoyo indirecto de los cimientos de un gran número de obras.

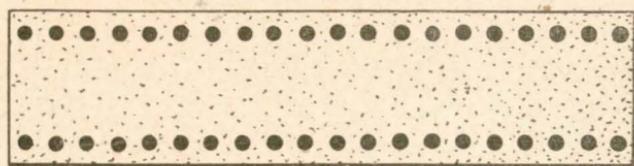


Fig. 31

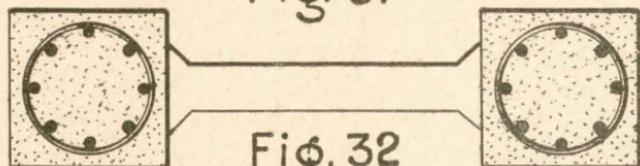


Fig. 32

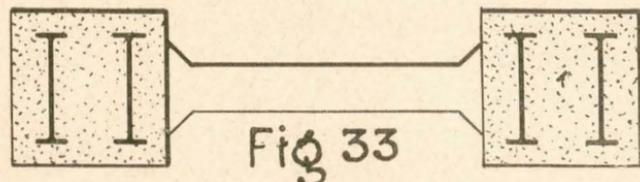


Fig. 33

Con estas cerchas, que no solo tienen rigidez propia, sino que se calculan para poder resistir el peso propio del hormigón de los arcos, pueden ejecutarse sin cimbras las bóvedas de los puentes.

Para ello, basta montar

al aire, o con un ligero andamio, las cerchas metálicas, divididas en trozos que se empalman con tornillos; una vez cerradas estas armaduras, se suspenden de ellas unos ligeros moldes, dentro de los que se vierte el hormigón de los arcos.

No solo se economiza así gran parte del gasto de la cimbra, sino que se suprime la contingencia de su destrucción por las avenidas de los ríos.

Las ventajas de esta disposición las ha hecho aceptar por la Dirección de Obras Públicas para los modelos oficiales de puentes en arco para carreteras y caminos vecinales, cuyo estudio fué encomendado al autor (1).

En tubos o depósitos circulares.—Pueden estos estar sometidos a compresión exterior o a presión interior.

En el primer caso, el hormigón basta generalmente para resistir, pero hay casos en que se le añade una ligera armadura compuesta por directrices redondas, que se arriostran por lige-

(1) *Revista de Obras Públicas* de 1.º de Diciembre de 1923.

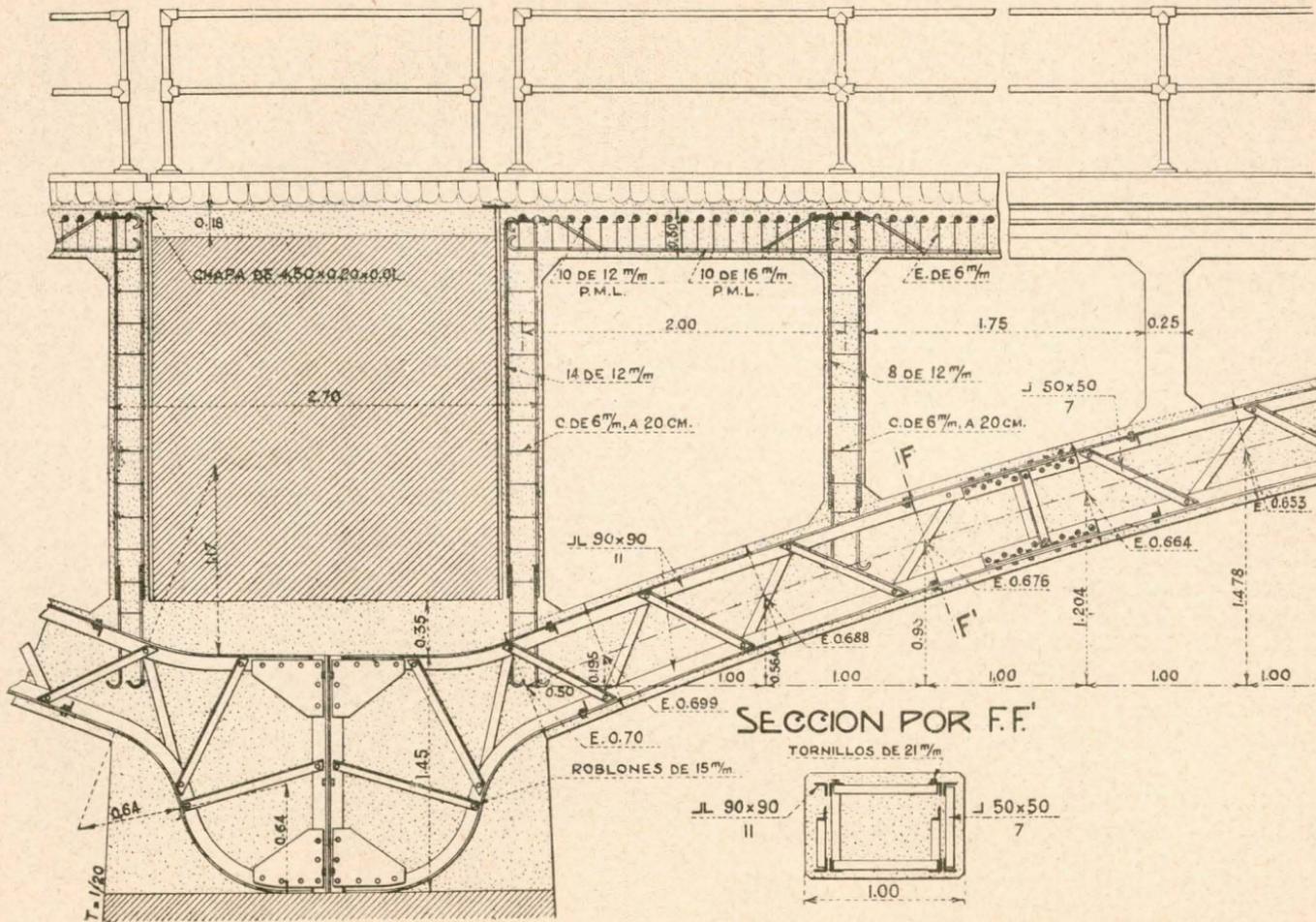


Fig. 34.—Armaduras rígidas para arcos de puentes.

ras generatrices de acero también redondo, atado a aquéllas con alambre.

Cuando los tubos o depósitos circulares trabajan a presiones interiores de agua, la resistencia está exclusivamente confiada a las barras directrices; el hormigón, si el tubo es grande, o el mortero, si el diámetro es pequeño, arriostan la armadura y dan la impermeabilidad.

§ IV.—EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

Las obras de hormigón armado exigen aún más que las de fábrica de hormigón ordinario, no solo una dosificación perfecta de sus componentes, sino una ejecución cuidadosa.

Condiciones facultativas oficiales.—Los accidentes ocurridos en algunas obras, han sido casi siempre producidos por un exceso de confianza en el nuevo material, que ha impulsado a descuidos de construcción.

Para corregir esa tendencia, la Dirección de Obras Públicas ha aprobado las *Condiciones facultativas generales aplicables a todas las obras de hormigón armado*, que figura en el Apéndice número 2 y que consideramos preciso observar.

A ellas deben atenerse los Ingenieros y constructores, claro es que interpretándolos con inteligencia, por lo que nos limitaremos aquí a comentar algunos de los artículos que figuran en dichas condiciones.

Arena.—(Artículo 1.^o) Para las obras de hormigón armado aún más que para las otras clases de fábrica, es necesario una buena arena, silícea preferentemente, bien limpia y con la composición granulométrica que se describe y que recomendamos ya al ocuparnos de los morteros en general (pág. 38).

Pero ya dijimos también en dicho Capítulo II, pág. 39, que no siempre es indispensable lavar las arenas, pues algunas veces, la presencia de la arcilla en polvo, no excediendo de 10 %, aumenta la resistencia de los morteros. (1)

(1) Experimentos practicados por el Ingeniero don M. Giménez Lombardo, publicados en la *Revista de Obras Públicas* de 18 Abril 1912, parecieron demostrar que las arenas sucias naturales con arcilla, en proporciones entre 2,70 y 9,55 % daban en muchos casos una resistencia a la tracción mayor que con arenas lavadas.

En estos casos dudosos, deben ensayarse comparativamente los morteros con arenas sucias, y los obtenidos con las mismas bien lavadas, para determinar así la influencia de la arcilla que contengan, antes de exponerse a hacer gastos de importancia con resultados negativos. Asimismo, tiene una gran importancia, la composición granulométrica de la arena.

Proporciones de arena y piedra. (Art. 6)—Aunque parezcan exageradas las condiciones exigidas, los experimentos realizados en el Laboratorio de nuestra Escuela (1) permiten deducir las siguientes conclusiones:

1.^a A igualdad de dosificación de cemento y agua, con el mismo volumen total aparente de arenas y de gravas, solo por *variación de composición granulométrica* se pueden obtener variaciones de compacidad y resistencia entre límites muy extensos (2).

2.^a Cribada la arena y grava en las proporciones que dan el máximo de compacidad, la relación entre unas y otras acusan el máximo de resistencia, cuando se fuerza a 833 litros por metro cúbico la cantidad de gravilla, rebajando a 367 la arena, valores próximos a la relación tipo 800 : 400.

Si, pues, con los fáciles experimentos que se prescriben en las Condiciones oficiales, se pueden conseguir aumentos de resistencia de 35 por 100, es evidente que el pequeño gasto que aquéllos ocasionen estarán más que compensado con la mayor compacidad de los hormigones obtenidos.

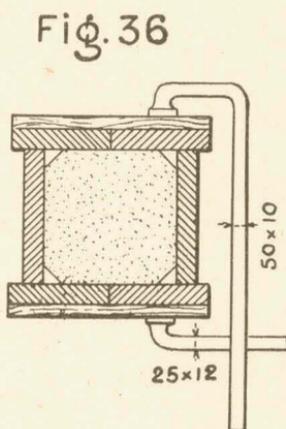
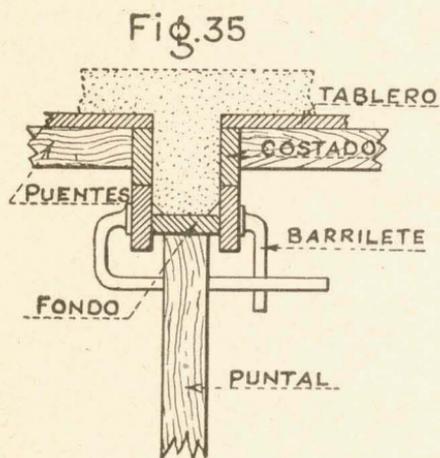
Moldes. (Art. 8)—Es condición esencial que los moldes que han de contener el hormigón durante su fraguado y endurecimiento sean perfectamente rígidos. Si se cimbrearan durante el apisonado, o adquirieran flechas durante el endurecimiento, podrían repercutir en las armaduras estos asientos de los moldes, despegándose aquéllas del hormigón, resquebrajando a éste.

(1) «Compacidad y resistencia de los Hormigones», por D. Alfonso Peña. — *Revista de Obras Públicas*, de 1.º de Mayo de 1923.

(2) Los experimentos de nuestro Laboratorio, con hormigones de 300 Kgs. y 800 x 400 litros de gravilla y arena, dieron a los 28 días, a la compresión, resistencias comprendidas entre 274 y 178 Kgs. cm/2, según que se dosificaba o no la composición granulométrica de los áridos. Es decir, que el empleo de éstos, sin clasificar, rebaja en un 35 por 100 la resistencia del hormigón.

Los moldes se construyen generalmente con tableros de 5 o 7,6 cm. de grueso, de pino del Norte, pues la madera del país se deforma en contacto con la humedad del hormigón,

El arte del maestro carpintero que se encarga de este trabajo, debe consistir en preparar los moldes de manera a que su montaje y descimbramiento sea rápido y en reducir en lo posible la clavazón.



A ese efecto, se utilizan barriletes de carpintero, como se ve en las figuras 35 y 36, que representan las disposiciones más elementales que se dan para los moldes de un piso y un pilar.

Los fondos de los moldes de vigas y las piezas llamadas *puentes* de los tableros, deben estar sostenidos por numerosos puntales, apoyados a su vez sobre dobles cuñas de madera, que se aflojan para descimbrar.

Para la construcción de paredes verticales, los moldes se complican mucho, pues necesitan tableros dobles, que exigen andamios y arriostramientos, a menos de emplear sistemas especiales de moldes, como indicamos ya en el capítulo anterior (página 46).

Las bóvedas y arcos de puentes necesitan además unas cimbras que sirvan de apoyo a los moldes propiamente dicho.

En resumen, la adquisición de maderas y construcción de estos moldes y cimbras, es uno de los factores que encarecen

más las obras de hormigón armado. La experiencia de los constructores y la habilidad de los capataces contribuyen a aminorarle, pero aun así, es un gasto que necesita bastante volumen de obra para poderse amortizar.

Es frecuente que los Ingenieros que proyectan, se preocupen sobre todo de reducir los volúmenes de hormigón y peso del hierro, y no vacilan para ello en complicar los moldes y mano de obra. Es un error. El Ingeniero debe siempre proyectar, *con vistas a la construcción*, para facilitar ésta, para permitir moldes sencillos, fáciles de armar y desarmar, con escasa mano de obra de preparación y poco desperdicio de madera.—De nada le servirá ahorrar unas pesetas en materiales, si la complicación de los moldes encarece el gasto total.

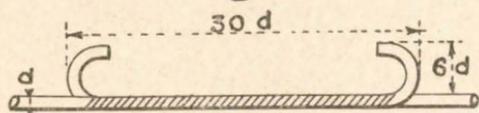
Preparación y empalme de las armaduras.—(Art. 9.º) Los redondos de vigas y pilares pueden tener diámetros comprendidos entre 15 y 50 mm. (aunque debe procurarse no excedan de 40 mm., pues a partir de este diámetro, se trabajan con dificultad y tienen menos adherencia); los de forjados entre 6 y 20 mm., las horquillas de vigas de 6 a 15 cm., las riostras de pilares de 5 a 8 mm.

Conviene sean de una sola pieza las gruesas barras de vigas sometidas a tensión; no siendo superiores a 40 mm., las fábricas las laminan de cualquier longitud.—Su transporte se dificulta entonces algún tanto, pues hay que doblarlas para que quepan en vagones y barcos, y cuando excedan de 20 mm. de diámetro, es operación molesta y que obliga a enderezarlas en obra.—Pero todos estos inconvenientes son preferibles a los de los empalmes de estas barras, que sufren generalmente tensiones que alcanzan 12 Kgs. cm².

Cuando son indispensables los empalmes, hay que someterse a las precauciones prescritas en los epígrafes (c) (d) y (e) del art. 9.º del citado Pliego de Condiciones generales, que las especifican con detalle.

El procedimiento más económico sería el de soldar las puntas de las barras, por medio de un forjador de confianza o apelando a las soldaduras autógenas o eléctricas, que son de un uso corriente en muchos talleres, para piezas delicadas de automóviles y locomotoras.

Fig. 37



Manqueto para barra de 48 mm.

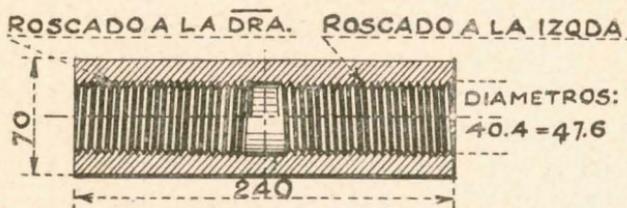


Fig. 38

Pero en las obras, no siempre puede uno fiarse de estas soldaduras y es preferible asegurar su resistencia, mediante el solape de sus extremos en la forma de la Fig. 37.

En barras de diámetro superior a 25 mm., es aún preferible

(epígrafe (d) del art. 9.º) envolver las puntas de las barras, *previamente soldadas*, por una corona de 4 a 6 barras suplementarias de menor diámetro, cuya sección total equivalga a la de la barra principal y que se atan también con alambre de 1 mm. en doble espira.

También se pueden emplear los manguitos terrajados, que proyectó el señor Zafra en sus modelos de tramos rectos (Fig. 38), que bien ejecutados aseguran un buen empalme, pero encarecen sensiblemente el coste de las armaduras, cuando los diámetros exceden de 30 mm., pues no se fabrican tubos de acero con los espesores necesarios y hay que construirlas especialmente.

En todos los casos de empalmes de barras, deben alternarse las uniones, de modo que no coincidan en la misma sección transversal, y a ser posible que no coincidan con el centro de las vigas, donde se producen los máximos momentos flectores.

Las barras sometidas a compresión, no necesitan soldarse; puede asegurarse la transmisión de los esfuerzos, por medio de manguitos de acero con una longitud de 6 diámetros, que en-

vuelvan los dos extremos y vertiendo en el hueco de tubo y barra lechada espesa de cemento.

Los extremos de las barras de tensión de las vigas, deben doblarse en forma de gancho circular (Figs. 26 y 27, pág. 63), cuyo diámetro sea seis veces el de la barra. (1)

Las barras de forjados no necesitan doblarse en sus extremos; basta con aplastarlas para aumentar algún tanto el esfuerzo adherente.

Las barras deberán prepararse en taller, doblándolas en matrices bien trazadas, por medio de gatos análogos a los que se usan para doblar carriles u otros aparatos sencillos, que ya se adquieren en el comercio. Cada constructor tiene sus preferencias y sus procedimientos, encaminados todos al ahorro de mano de obra, especializando cada obrero, en cada operación.

Moldeo del hormigón. — (Art. 10).

Los pisones que suelen emplearse, son análogos a los empleados para el hormigón ordinario (Fig. 18, pág. 53), de base rectangular o cuadrada, pero además se emplea otro pisón llamado vulgarmente *pie de cabra* Fig. 39, que se utiliza para los huecos entre las barras y costados de las vigas, en los que no caben los otros pisones.

Empiezan a emplearse pisones mecánicos por aire comprimido, pero en lugar de apisonar directamente la masa, algunos constructores golpean con ellos los moldes, para que la vibración de

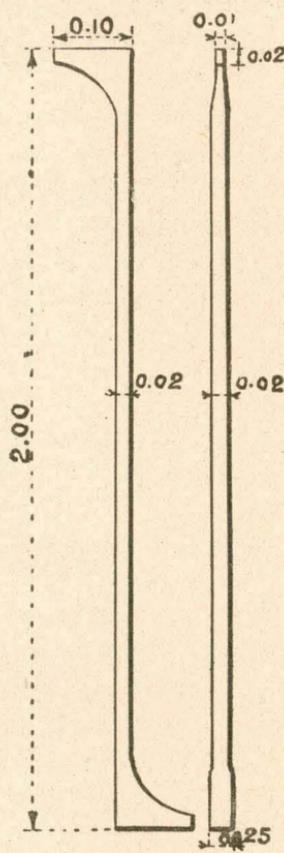


Fig. 39.

(1) Numerosos experimentos, entre los que citaremos los descritos en *Le Genie Civil* de 20 de Septiembre de 1919, demuestran que este gancho es mucho más eficaz que los dobles o aplastamientos de las puntas que emplean algunos constructores.

Según estos experimentos, la resistencia suplementaria de un gancho de 50 mm en una barra de 12,5 mm. es de 3.200 Kgs., mientras que doblando la punta en 30 mm., solo es de 1.000 Kgs. y abriendo o aplastando la punta, se reduce a 200 Kgs.

estos favorezca la extensión del relleno y contribuya a dar compacidad a las masas; estas tienen que ser entonces bastante fluidas.—Se podrá obtener así hormigones homogéneos, pero siempre serán más compactos y resistentes, con masas poco húmedas apisonadas directamente.

Descimbramiento.—No hay reglas fijas que determinen los plazos que el hormigón armado necesita para permitir el desmoldeo y descimbramiento.

Depende de las temperaturas reinantes durante las obras y de las luces y pesos de forjados, vigas y bóvedas.

En época de heladas, deben retrasarse del número de horas que aquellas hayan durado, pues se retrasa de otro tanto el fraguado.

Con el calor, se adelanta el endurecimiento de la masa.

Daremos sin embargo algunos plazos de carácter práctico para las obras más corrientes.

Forjados: de 4 a 6 días, según luces y pesos.

Vigas y bóvedas, hasta 6 m. de luz: 8 días.

» » de 6 a 15 m. de luz: 15 días.

» » de 15 a 25 m. de luz: 25 días.

» » de 30 m. de luz en adelante: 30 días.

§ V — VENTAJAS DEL HORMIGÓN ARMADO

Economía.—No se puede precisar la economía exacta que presenta el empleo del hormigón armado, pues depende, no solo de las circunstancias locales, sino de la cantidad de obra a ejecutar y de los esfuerzos a que ha de estar sometida la construcción.

En pisos, por ejemplo, la economía con relación a los pisos construidos con viguetas de hierro, aumenta sensiblemente con las luces y con la sobrecarga.—En crugías de 4 a 5 m. la economía es apenas sensible, pero puede exceder de 50 % en tramos de 8 a 12 m., para sobrecargas de 2.000 Kgs. por m².

Los pilares de hormigón armado son muy inferiores en coste a las columnas de hierro y fundición; la economía sobre éstos oscila entre 20 y 80 por 100.

En paredes y muros de edificios, es poco frecuente el empleo del hormigón armado, que por exigir moldes por ambos lados, encarece sensiblemente la construcción.

En muros de sostenimiento o de contención de agua, en los que el factor peso propio es el principal elemento de la estabilidad, son también contados los casos en que el hormigón armado ofrece economía.—Sin embargo, en muelles de puertos y rías, en los que la piedra sea cara, puede resultar más económico el empleo del nuevo material.

Los depósitos circulares de agua de hormigón armado, ofrecen economías sensibles sobre los de hierro o fábrica.

Cuando haya que ejecutarlos rectangulares, los muros de hormigón armado pueden resultar más caros que los de fábrica, pero es seguro que las cubiertas habrán de ser más baratas de hormigón armado que las de cualquier otro material.

Pero es principalmente en puentes, acueductos y sifones, donde la economía del hormigón armado es más evidente y considerable.

En Puentes de carretera, la diferencia de coste con relación a los tramos metálicos, puede variar de 400 a 50 % para luces comprendidas entre 10 y 50 metros (1).—La economía va disminuyendo a medida que las luces aumentan.

En puentes de ferrocarriles, las economías son menores, pero casi siempre sensibles para tramos inferiores a 25 metros de luz.

En acueductos y sifones, salvo casos excepcionales, será siempre más económico el ejecutarlos con hormigón armado.

Existe todavía una verdadera obsesión, respecto a la duración que se considera eterna de las obras de fábrica construidas con piedra, que impulsa a asegurar que por efecto de su duración ilimitada, resultan más económicas que las de otros materiales.

Los Ingenieros deben tener en cuenta, no solo las economías inmediatas que obtengan en una obra, sino el interés compuesto de esas economías.

(1) Comparación económica de los modelos oficiales de tramos para carretera, por el Ingeniero don José Barcala.—*Revista de Obras Públicas* de 1.º y 15 de Agosto de 1923.

Si por ejemplo, el empleo del hormigón armado permite en un puente un ahorro de 25 % en la construcción, esta economía, amortiza el gasto total en un plazo de 24 ó de 30 años, según que el tipo de interés sea el 6 ó el 5 %.

Duración.—Puede asegurarse hoy que las obras de hormigón armado son mucho menos precarias y efímeras que lo que supusieran al principio algunos de sus detractores.

Por de pronto, hay muchas obras con 40 años de existencia; en ninguna de ellas se notan fatigas, ni la menor señal destructiva, ni aún en aquellas como fábricas y puentes sometidos desde entonces a choques y vibraciones.

Y no puede ser menos, pues lógicamente pensando, basta hacerse cargo de los elementos constitutivos del hormigón armado para formular una opinión motivada.

En efecto, el hormigón armado está formado por una mezcla envolvente a base de portland y por hierro o acero, que es su armadura interior.—Como es sabido, el cemento es el único material cuya dureza va aumentando con el tiempo.—La madera, el hierro y hasta la piedra se va pudriendo, oxidando o desmoronando bajo la acción de los agentes atmosféricos.—Estos son, en cambio, los que contribuyen a endurecer el portland.

Respecto al hierro, ¿qué razón puede haber para que sufra, si por efecto de estar envuelto por mortero no le llegan ni el aire, ni el agua, cuyo oxígeno es el único corrosivo del metal?

Es más: está demostrado, y yo he podido comprobarlo varias veces, que barras de hierro muy oxidadas metidas en hormigón, salen limpias al cabo de algún tiempo, presentando su exterior el color azulado que ofrecen cuando salen del laminador.—El óxido de hierro que lo recubría parece como disuelto en la masa del mortero, combinándose quizá en forma de silicato férrico y tomando parte en las reacciones del fraguado.

Solidaridad y rigidez.—En las obras de piedra o ladrillo, existen las juntas; en las metálicas los roblones.—Ambos elementos de unión son puntos débiles, soluciones de continuidad del conjunto, que tienden a destruirse por efecto de choques y vibraciones.

El hormigón armado, *suprime las juntas y roblones*.—Toda la construcción es *solidaria*; todos sus elementos trabajan simultáneamente y se ayudan.—La obra es menos sensible y más rígida.

Los terremotos de San Francisco y recientemente los del Japón, evidenciaron que la solidaridad de los edificios construídos de hormigón armado, permitió a la mayor parte de ellos resistir a las violentísimas sacudidas sísmicas que derrumbaron todas las demás construcciones.

Elasticidad.—Pero esta rigidez, no excluye la elasticidad.—Las piezas de hormigón armado tienen flechas que alcanzan cifras extraordinarias, sin que se rompan, (1) y no pasando de ciertos límites, estas flechas desaparecen, al quitarse la sobrecarga, aunque se hayan presentado grietas en el hormigón.

Esta condición ofrece una garantía de seguridad, pues que para romper un sólido de hormigón armado, se necesita aproximadamente el doble de la carga que ocasiona las primeras grietas en el hormigón.

Incombustibilidad.—En los recientes terremotos antes citados, se demostró también la enorme ventaja que ofrece la incombustibilidad de los edificios de hormigón armado.—El fuego destruyó más casas que los terremotos y solo quedaron casi incólumes las casas construídas de hormigón armado.

Se han hecho pruebas concluyentes sometiendo esas construcciones a temperaturas de 1.200 grados, sin haber conseguido alterar siquiera la resistencia del hormigón.—Este es tan mal conductor, que en las experiencias al fuego, se puede colocar la mano sobre una pared de 10 cm. de grueso, cuya cara opuesta está calentada al rojo.

Sabido es, en cambio, que los pisos o armaduras de hierro, que muchos creen incombustibles, son por efecto de la gran conductibilidad del hierro tan sensibles a la acción de un fuego, que contribuyen, si no a propagarlo, por lo menos a hacer más

(1) Entre los experimentos que he practicado, obtuve flechas de 23,5 cm. en dinteles planos de 2,60 x 3,50 m. de luz, formando dicho dintel una curva perfectamente regular.—(Véase el Acta de las pruebas verificadas en las obras de la Cárcel Modelo de Oviedo.—*Revista de Obras Públicas*—1898).

destructores sus efectos, pues las columnas de fundición saltan, las viguetas se dilatan y derrumban los muros.

Han sido ya varios los edificios construídos, parte con hormigón armado y parte con hierro, donde el incendio ha respetado cuanto estaba construído con el nuevo material y no ha dejado piedra sobre piedra en las naves o pisos en que se habían empleado viguetas metálicas.

Dilataciones.—No quiere esto decir que deban despreciarse las dilataciones o contracciones que sufre el hormigón armado por los cambios de temperatura. (1)

Pero la casi igualdad de los coeficientes de dilatación del acero y del cemento, que son respectivamente de 0,00001182 y 0,00001283 permiten a ambos elementos dilatarse por igual.

Ahora bien, en grandes superficies de pisos, en puentes de luces superiores a 20 metros, es preciso precaverse contra los cambios de temperatura, a cuyo efecto se dejan juntas o se intercalan aparatos de dilatación.

Impermeabilidad.—El hormigón, aún muy bien apisonado, es bastante permeable, sobre todo con agua a presión; pero aumentando la riqueza de los morteros en la superficie en contacto con los líquidos, o enluciendo, esta permeabilidad desaparece y aunque en las primeras semanas puede a veces observarse cierta exudación, muy pronto quedan colmatados los poros del mortero con las sales cálcicas que siempre contiene el agua. (2)

Ventajas higiénicas.—Esta impermeabilidad se opone a la intrusión de parásitos, insectos, gérmenes pútridos o morbosos, que no pueden eliminarse con los demás sistemas de construcción.—Su dureza impide la entrada de ratones y otros animales tan prolíficos como asquerosos.

Los pisos de cemento pueden limpiarse y hasta baldearse, y en nuestra época, en que con razón, tanto se preocupan los Ar-

(1) La ola de calor que sufrió Madrid el 8 de Abril de 1905, fué la causa del hundimiento de la cubierta del tercer depósito, en donde no se preveyó que ocurriera esa contingencia *durante el periodo de construcción.*

(2) En los sifones del Sosa y Abelda, que son tubos de 3,80 y 4,00 m. de diámetro, sometidos desde hace 20 años a presiones de 30 metros, la impermeabilidad de las paredes es completa.

quitectos de mejorar las condiciones higiénicas y sanitarias de los edificios, no es esta una de las menores ventajas que presenta el hormigón armado.

Resistencia a los ácidos.—El escaso efecto que la mayor parte de los ácidos ejerce sobre los buenos cementos, permite el empleo económico del hormigón armado en muchos casos en que el hierro y la madera no resisten a la acción corrosiva de esos líquidos.

Así es que se han empleado con éxito cubas de este material en industrias químicas, en depósitos para malezas de azúcar, en cubas para vinos, que no dan olor ni sabor a los caldos que contienen.

Condiciones estéticas.—Moldeándose el hormigón, claro es que se presta a todas las formas arquitectónicas que quiera darle el Arquitecto más fantástico, teniendo, sobre todo, en cuenta que para el hormigón no hay dificultad de construcción que no se solucione con valentía y ligereza.

Los grandes vuelos que permite el moldeo de los paramentos, afectando formas y perfiles variados, facilitan, por el contrario la ornamentación, sin aumento sensible de coste.

Rapidez de ejecución.—Constituido el hormigón armado por elementos sencillos que se encuentran siempre en el comercio, como son hierros redondos, cemento y gravillas, pueden las obras comenzar inmediatamente; pues mientras los materiales se van acoplando, ármanse las cimbras y moldes con madera, que en todas partes se encuentra.

Se obtiene, pues, en estas obras la velocidad que se quiere; lo que no ocurre con los demás sistemas en construcción, que exigen casi siempre una preparación larga y un asiento o montaje muy lento.

Objeciones que se han hecho al hormigón armado.—El empirismo que dominaba en los cálculos de las dimensiones, inspiraba escasa confianza en sus resultados.

Hoy, la experiencia de millares de obras por un lado y la aplicación de teorías mecánicas más científicas por otro, desvirtúan aquellos temores.

Podrán no ser completamente ciertos las hipótesis que los Ingenieros utilizan para fijar las secciones de las armaduras, pero las obras así calculadas, se comportan en las pruebas, como si se realizaran aquellas hipótesis.

Queda el peligro de una ejecución deficiente, de las irregularidades de algunos cementos.

Pero, con una dirección inteligente, con una inspección minuciosa, o mejor aún, no confiando la ejecución de las obras delicadas, sino a constructores prácticos y responsables, se evitan esos peligros, de que no están por otra parte exentos los demás procedimientos constructivos.

Resumen.—El hormigón armado no es ni será la panacea del arte de construir, pero no es dudoso ya que ofrece ventajas que no presentan ni la madera, ni el hierro, ni la piedra y que resuelve con éxito y con economía, la mayor parte de los problemas de construcción.

El empleo del cemento fundido, cuando su precio se reduzca, permitirá también acelerar las obras con ahorro sensible de moldes.

No olvidemos, por último, que permite ejecutar las obras con peones sin oficio, ventaja que compensa con creces la vigilancia inteligente que exige.

