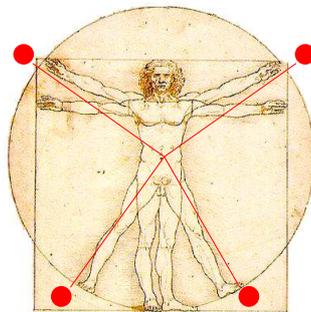


TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

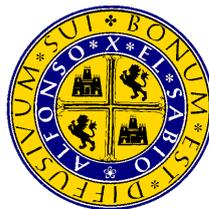
VOLUMEN X. AÑO 2012

SEPARATA



EL HORMIGÓN: HISTORIA, ANTECEDENTES EN OBRAS Y FACTORES
INDICATIVOS DE SU RESISTENCIA.

Ángel Francisco Nistal Cordero, María Jesús Retana Maqueda y Teresa Ruiz Abrio



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO

Escuela Politécnica Superior
Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: Ángel Francisco Nistal Cordero, María Jesús Retana Maqueda y Teresa Ruíz Abrio.
Junio, 2012.

© De la edición: Revista Tecnologi@ y desarrollo
Escuela Politécnica Superior.
Universidad Alfonso X el Sabio.
28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).
ISSN: 1696-8085

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

EL HORMIGÓN: HISTORIA, ANTECEDENTES EN OBRAS Y FACTORES INDICATIVOS DE SU RESISTENCIA.

Ángel Francisco Nistal Cordero (a),

María Jesús Retana Maqueda (b) y María Teresa Ruíz Abrio (c).

(a) Máster en Ingeniería Ambiental. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Licenciado en Ciencias Ambientales. Universidad Alfonso X el Sabio. Avenida de Las Murallas, 66, Astorga (León). Tlf.: 620 605 623, email: gelan2002@hotmail.com

(b) Dra. Ingeniero Industrial. Calle Ercilla, 49, Madrid.
Tlf.: 676 445 120, email: mjretmaq@gmail.com

(c) Dra. en Ciencias Químicas. Universidad Alfonso X el Sabio. Avda de la Universidad, 1, Villanueva de la Cañada (Madrid). Tlf.: 91 810 97 59, email: truiz@uax.es

RESUMEN:

El uso del hormigón como elemento constructivo ha estado presente en multitud de estructuras y edificaciones desde los albores del Imperio Romano hasta nuestros días. Paralelamente han ido evolucionando con él, tanto los elementos básicos de las obras en las que se ha utilizado este material como la propia puesta en obra del mismo, los ensayos que se realizan sobre éste para asegurar su calidad y los aditivos utilizados en la elaboración del propio hormigón. En la actualidad son muchos los factores que intervienen en el resultado de la resistencia final del material, de entre los que se van destacar la temperatura ambiente en el momento del hormigonado, los aditivos empleados y los ensayos a los que se somete el hormigón.

PALABRAS CLAVE: Hormigón, historia, evolución, ensayos, aditivos, temperatura, resistencia a compresión simple.

ABSTRACT:

The use of concrete as a building component, has been present in many structures and buildings since the dawn of Roman Empire to the present. Have evolved in parallel with it, basic elements of works in which this material has been used like the laying of it, the tests conducted on it to ensure its quality and additives used in the preparation of the concrete. At present, many factors are involved in the final result of the resistance of the material, it should be noted the ambient temperature in the moment of work with concrete, the additives used and the tests to which the concrete is subjected.

KEY WORDS: Concrete, history, evolution, tests, additives, temperature, simple compression resistance.

SUMARIO: 1. Concepto de hormigón. 2. Breve repaso a la historia de la evolución en la utilización del hormigón como elemento constructivo. 3. Antecedentes de los elementos básicos de las obras de hormigón. 4. Estado actual. Factores identificativos de la resistencia a compresión del hormigón. 5. Referencias bibliográficas.

SUMMARY: 1. Concrete concept. 2. Brief review of the history of evolution in the use of concrete as a building element. 3. Background of the basic elements of concrete works. 4. Current status: identifying factors of the compression resistance of concrete. 5. References.

http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECEOC12_002.pdf

1. Concepto de hormigón

Muchas son las publicaciones técnicas en las que se pueden encontrar infinidad de interpretaciones que profundizan en mayor o menor grado en el concepto de hormigón. Sin embargo, el concepto que a continuación se presenta tiene un enfoque un tanto literario, que no se adentra en campos ni terminologías excesivamente técnicas, pero que muestra a todo aquel que se preste a su lectura, la esencia del concepto de hormigón y lo que conlleva consigo el mismo.

El hormigón no se limita a representar el papel de las vigas lineales, ni su utilización se reduce a la formación de paneles planos. Unas veces se curva airoso para describir un arco, otras se extiende en las tres dimensiones del espacio envolviendo, con espesor variable, el conjunto de volúmenes que el proyectista desea encerrar.

Como lógica consecuencia de esa libertad en las formas que puede adoptar, se crea alrededor de este material, tan dócil a la voluntad artística, un conjunto de nuevas soluciones a viejos problemas en donde la técnica rivaliza con la sensibilidad hasta alcanzar el dominio de un estilo que reclama un capítulo especial en el arte de la construcción. No ha sido el aspecto concreccionado de su masa, grisácea y poco atrayente, el motivo promotor de su éxito; ha sido su cualidad formácea la virtud radical de su triunfo.

2. Breve repaso a la historia de la evolución en la utilización del hormigón como elemento constructivo

2.1. Antes del Imperio Romano.

Cuando el hombre desea construir de forma duradera, procede a utilizar como materiales minerales estables; una solución así consiste en tomar una piedra o roca y tallarla, lo cual limita las dimensiones, a menos que se cobije en la misma roca (cavernas, centrales subterráneas...). Esto fue lo que hicieron nuestros antepasados en los albores de la prehistoria.

Ya en la época del Paleolítico y del Neolítico la técnica de la construcción mejoró y el hombre comenzó a unir piedras por el método llamado de los muros de “mampostería en seco”, que consiste en la colocación de piedras en hileras horizontales procurando que su unión sea lo más homogénea posible, siempre y cuando lo permita la morfología de las propias piedras, conformando muros sin el uso de ningún tipo de conglomerante, lo cual multiplica la aparición de gran cantidad de tensiones en las uniones entre piedras y provoca en muchos casos la rotura de las mismas.

Posteriormente se pasó a rellenar las capas entre piedras con un mortero cuya misión fundamental era la de repartir las cargas de una forma más equitativa. El conglomerante que se utilizó con mayor asiduidad durante esta época, fue una mezcla de arcilla apisonada con canto rodado.

Con el establecimiento de las primeras civilizaciones conocidas durante la Edad Antigua, se descubren nuevos materiales a utilizar como conglomerantes en las construcciones realizadas durante las mismas. De esta manera, en Mesopotamia, al principio, se utilizaron las breas de petróleo hasta la época en que los egipcios descubrieron la cal.

2.2. Época del Imperio Romano.

Durante el Imperio Romano el uso del hormigón como elemento constructivo tanto en grandes como en pequeñas estructuras e infraestructuras alcanzó un grado de tal satisfacción que no se volvió a lograr hasta el siglo XIX. Esto se debió posiblemente a la gran habilidad constructiva de los romanos y a la facilidad de conseguir cerca de Roma arenas volcánicas con propiedades cementicias, con las que preparaban un mortero mezclando dichas arenas con piedras naturales (habitualmente cal y guijarros). Este mortero poseía unas propiedades físicas y mecánicas prácticamente idénticas a las que posee el hormigón utilizado en las construcciones erigidas en la actualidad, y era utilizado en la construcción de estructuras enormes que han probado ser muy duraderas con el paso de los siglos.

2.3. La época del olvido.

Llegaron los años del declive del todopoderoso Imperio Romano y con ello disminuyó de manera estrepitosa y más que notable, especialmente a partir del siglo III después de Cristo, el uso del hormigón como material portante de grandes cargas en las diferentes construcciones realizadas desde la fecha antes mencionada.

2.4. Milenio entre el Imperio Romano y la aparición del hormigón armado.

Este es el periodo aproximado de tiempo transcurrido entre la gran era del hormigón acaecida durante el Imperio Romano y su descubrimiento moderno por parte de John Smeaton, considerado uno de los padres de la ingeniería moderna.

Varios fueron los intentos fallidos de construir un faro sobre Eddystone, una roca sobresaliente en la bahía inglesa de Plymouth. El fracaso en la ejecución de la mencionada construcción fue debido a que la roca era frecuentemente cubierta por las aguas y el mortero de cal era lavado de las juntas de albañilería.

Al ya mencionado Smeaton se le encargó, por parte de la Royal Society, la construcción definitiva del faro de Eddystone. Éste entendió rápidamente que la cal blanca comúnmente usada para el mortero era inferior en sus cualidades hidráulicas (propiedad de endurecer bajo el agua) a la cal gris, que contenía algunas impurezas de arcilla. Posteriormente observó que la Pozzelana tenía todavía unas cualidades hidráulicas superiores a las de la cal gris gracias a la combinación de sus componentes mayoritarios; óxido de calcio (cal) y silicato de aluminio (arcilla).

Ni que decir tiene que el uso de este tipo de mortero fue un gran descubrimiento en el ámbito de la ingeniería civil y el inicio de la era de lo que se podría denominar “El hormigón moderno”.

2.5. Unión de hormigón y acero: El hormigón armado.

Es bien sabido que los primeros pasos en el uso, de manera consciente, de la asociación hormigón y acero dando como resultado un heterogéneo material conocido en la actualidad como hormigón armado, se dieron a partir de la década de los 50 del siglo XIX. Sin embargo, se tiene constancia de que durante la época del Imperio Romano y del Renacimiento, si bien de manera más práctica que consciente, se recurría de habitualmente a la utilización del recurso de reforzar la albañilería y el hormigón con grampas de bronce o hierro cuando la tracción era excesiva, usando particularmente en arcos y bóvedas piezas de hierro en forma de U en la cara traccionada evitando así que se abriesen las juntas de los bloques de piedra.

Ya durante el siglo XIX se realizan dos producciones más ornamentales que prácticas en las que se utiliza el hormigón reforzado con armadura. La primera son las Cajas de Flores y Jarrones para decoración de jardines obra de Monier, en Francia en 1850, mientras que la segunda es la Barca de Lambot presentada en la Exposición Universal de París en 1855.

Es también en este periodo cuando la idea de aumentar la resistencia a la flexión del hormigón armado colocando armaduras se le ocurrió simultáneamente a un cierto número de personas en Europa, que patentaron la misma. William B. Wilkinson en Inglaterra, 1854; y en Francia, Joseph Luis Lambot en 1855, François Coignet, en 1861, Joseph Monier, en 1867, y François Hennebique, en 1892. De entre todas las patentes enumeradas, merecen especial mención las François Coignet, Joseph Monier y François Hennebique respectivamente.

François Coignet obtiene la primera patente de techos de hormigón con armadura formada por barras de hierro cruzado. Por su parte, Joseph Monier, considerado como uno de los precursores en el uso del hormigón armado, consigue la patente basada en sus jardineras, en el año 1867, y la aplicará a elementos constructivos tales como vigas, bóvedas o tubos. En lo que a François Hennebique se refiere, tres son las patentes que se le conceden, la primera, de 1892, es la de una viga en T, la segunda se trata de una losa de forjado aligerada y data de 1894, mientras que la tercera versa sobre pilotes prefabricados, y la obtuvo en el año 1898. Hennebique desarrolla con el conjunto de sus patentes un sistema integral de construcción, en el que plantea por primera vez un sistema completo, desde la cimentación hasta la cubierta, es decir, una forma constructiva autónoma.

En España se difundió rápidamente la patente de Hennebique de 1892, teniendo como principales representantes en nuestro país al ingeniero José Eugenio Ribera, profesor de la Escuela de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos de Madrid, y su discípulo Eduardo Torroja. Cabe destacar que en la zona de Cataluña, tuvo un desarrollo especialmente intenso la patente de Monier, siendo su impulsor en esta zona el Ingeniero Militar Francesc Macià Llusà.

Hasta la mitad de la última década del Siglo XIX los trabajos realizados en hormigón armado eran realmente intuitivos y experimentales; tenían como base de cálculo la comparación con otros materiales y el sentido práctico del constructor, pero su técnica no estaba aún constituida ni normalizada en modo alguno. Sin embargo, es a partir de este momento cuando aparecen los primeros estudios racionales en materia de hormigón armado. Los alemanes Bach y Johann Bauschinger, presentan en los años 1894 y 1895, respectivamente, una serie de trabajos consistentes en la publicación de un conjunto de experimentos realizados con probetas de hormigón en masa y con piezas dotadas de armaduras, en las que fijaron los coeficientes de elasticidad longitudinal de las piezas e introdujeron los conceptos de cuantías metálicas y relación de las deformaciones conjuntas.

Desde la concesión de las primeras patentes referidas a la técnica del hormigón armado a mediados del siglo XIX hasta los inicios del siglo XX, el cálculo, diseño y ejecución de obras y elementos de hormigón armado de mayor o menor índole anduvieron sus pasos sin normas que las constriñeran pero también sin reglamentaciones que las orientaran en lo que a cálculo, diseño y ejecución se refiere. Rápidamente se van redactando y saliendo a la luz las normalizaciones en materia de hormigón armado en diferentes naciones, de entre las que destacan la de Suiza en 1903, la de Prusia (actual Alemania) en 1904, la de Francia en 1906, la del Reino Unido en 1907 y la de los Estados Unidos de América en 1910, a las cuales siguieron, por supuesto, las de muchos otros países a lo largo y ancho del globo. Debe señalarse la anomalía de que España no disfrutó de su primera normativa de hormigón armado hasta el año 1939.

Desde principios del siglo XX, algunos ingenieros intentaron precomprimir los elementos de hormigón, atravesándolo de parte a parte con barras de acero dulce trefilado, pretensándolo por la presión de una tuerca; pero estos ensayos no sufrieron más que reveses debido a la intervención de la fluencia y la retracción del hormigón: el acortamiento diferido del hormigón, sensiblemente igual al alargamiento inicial a que se sometían los cables, bastaba para anular la tracción del acero, desapareciendo el pretensado al cabo de algunos meses. Es al francés Eugenio Freysinnet (1879-1962), a quien se le debe el gran mérito de haber puesto a punto y desarrollado la tecnología del hormigón pretensado, obteniendo las principales patentes relativas a dicho campo de investigación en el año de 1928. Sin embargo, el pretensado no alcanzó su verdadero desarrollo práctico hasta después de la II Guerra Mundial (1939-1945), momento en el que se hace necesaria la reconstrucción de una ingente cantidad de edificios e infraestructuras en un corto espacio de tiempo. Destacar la contribución realizada por parte del español Eduardo Torroja en el ámbito del hormigón pretensado, tanto por sus trabajos teóricos como por sus prestigiosas realizaciones. Prueba de su fama Mundial en este campo, es la fundación conjuntamente con Eugenio Freysinnet de la Federación Internacional del Hormigón Pretensado en el año 1952.

Desde mediados del siglo XX hasta la actualidad, la investigación en los diferentes ámbitos de utilización del hormigón armado, especialmente obra civil y arquitectura, ha avanzado a una velocidad realmente espectacular y vertiginosa, de hecho, se han producido importantes descubrimientos en el ámbito de la potenciación de determinadas características del material con la aparición de nuevos

aditivos, y también se han conseguido con estos elementos puestas en obra del material en condiciones cada vez más extremas.

3. Antecedentes de los elementos básicos de las obras de hormigón

Para la redacción del presente punto del artículo se han tenido en cuenta tres de los factores básicos que intervienen en la consecución de un objetivo como es el de la obtención de una resistencia a compresión en el hormigón tal que se cumplan las especificaciones requeridas por la normativa en cuestión, en el caso español la Instrucción de Hormigón Estructural del año 2008 (EHE – 2008), para el hormigón, con el cual se esté trabajando. Estos son, por un lado, el método de puesta en obra del material, el aditivo que se ha utilizado, bien durante la elaboración del hormigón, o bien en el momento en que se efectúa la puesta en obra del mismo, en caso de que se haya hecho necesario. Por último se tratarán los ensayos realizados tanto a pie de obra como en el laboratorio, que validarán la correcta ejecución de la puesta en obra del material y el adecuado funcionamiento del aditivo del que se ha hecho uso, a la hora de corroborar si se ha conseguido o no la resistencia a compresión simple deseada del hormigón en cuestión.

3.1.- Puesta en obra.

De entre todos los sistemas de puesta en obra del hormigón, se deben destacar aquellos en los que como complemento resistente de dicho material, sobre todo a la hora de soportar los esfuerzos a tracción a los que se pueda ver sometido el elemento estructural en cuestión, se utiliza el acero.

La colaboración entre acero y hormigón ofrece una gran variedad de soluciones y posibilidades constructivas en una combinación simbiótica de las características de cada material. Esta colaboración se viene llevando a cabo desde hace más de dos siglos en infinidad de elementos, tanto en arquitectura, como en ingeniería u obra civil.

En lo que a arquitectura se refiere, desde finales del siglo XVIII se emplearon vigas de hierro. El procedimiento más general para la formación del piso, heredado directamente de la construcción tradicional con vigas de madera, consistía en la disposición de bovedillas de ladrillo entre las vigas metálicas. A mediados del siglo XIX, el hormigón comienza a sustituir paulatinamente a las bovedillas de ladrillo, llegando en 1853 la primera patente de techo de hormigón con armadura concedida a François Coignet, como ya se comentó en el punto 2.5 del presente artículo.

En las primeras realizaciones con empleo conjunto de hormigón y acero, se evidencia un decidido propósito de aprovechar la potencialidad de los perfiles de acero no solo en su utilización como refuerzos para la resistencia a flexión de losas y forjados, sino de facilitar el proceso constructivo al permitir sujetar los encofrados directamente de los perfiles, evitando la necesidad de disponer apeos o cimbras. La ejecución de forjados sin necesidad de cimbras se optimiza en el sistema que patenta H. C. Ritchie en 1925. La solución planteaba la industrialización de un sistema constructivo de estructura metálica embebida con capacidad suficiente para soportar los pesos del encofrado y del hormigón

durante la construcción. En las vigas principales del forjado se disponía además una armadura adicional a base de redondos en las zonas solicitadas a tracción. El sistema incluía vigas y pilares mixtos en un esquema de ejecución rápido, seguro e industrializado que resolvía conjuntamente el problema resistente, constructivo y de protección al fuego. Este y otros sistemas similares utilizados en la misma época, aunque no definían aún secciones mixtas completas, sí que planteaban claramente las ventajas de la estructura mixta en lo que a la mejora de los procesos constructivos de losas y forjados de hormigón se refiere.

Al igual que en la arquitectura, en obra civil, más concretamente en construcciones como puentes y viaductos, las primeras realizaciones de hormigón con perfiles metálicos embebidos tuvieron una intención constructiva antes del conocimiento y la comprensión de su comportamiento conjunto a nivel de sección.

Josef Melan, ingeniero vienés emigrado a Estados Unidos, fue el primero en patentar un proceso constructivo para puentes que tuviese en cuenta la colaboración entre acero y hormigón. Éste consistía en un sistema de doblado de perfiles laminados de acero en I que posteriormente quedaban embebidos en el hormigón. El ingeniero español José Eugenio Ribera, perfeccionó el “sistema Melan” ideando un método en el que la armadura metálica de las bóvedas estaba conformada por vigas en doble T, sencillas o armadas, cuyo fin era el de tener por sí mismas resistencia y solidaridad suficiente como para sostener el peso muerto de los encofrados corredizos y el hormigón en el que posteriormente quedarían envueltas.

Las patentes desarrolladas por Melan y Ribera respectivamente, no tenían en cuenta el trabajo mixto de acero y hormigón en la sección del arco, de hecho la sección de hormigón estaba calculada para aguantar la mayor parte de las solicitaciones, teniendo por tanto la estructura metálica una razón de ser meramente constructiva.

Mención aparte merece el reto al que se enfrentó, en 1939, Eduardo Torroja, discípulo de Ribera, a la hora de ejecutar el arco de hormigón, de 209,84 m de luz, del Viaducto sobre el río Esla en Zamora, récord de luz en el momento de su ejecución. La magnitud del vano no permitía utilizar el método de Ribera puesto que ello exigiría el uso de una cimbra muy pesada teniendo en cuenta el peso propio del arco que debía de soportar. Las dimensiones de la obra y la imposibilidad de usar el método de Ribera, llevó a Torroja a definir un método de hormigonado, no visto hasta la fecha, en el que el objetivo principal era el de provocar las menores solicitaciones posibles en la cimbra. De esta manera proyectó una construcción evolutiva en la que se hormigonaban secciones parciales del arco en roscas completas que se incorporaban sucesivamente a la sección resistente, estas secciones parciales, podrían ser cada vez de mayor espesor ya que la cimbra podría soportar mayores esfuerzos conforme avanzaba la operación.

En lo que a puentes de vigas metálicas se refiere, las losas de hormigón armado sustituyeron a las soluciones tradicionales de bovedillas de ladrillo, largueros de madera y rellenos de arena o morteros. Pero la adopción de la losa superior como parte resistente de la sección no fue algo inmediato. En un

principio, la capacidad portante se confiaba exclusivamente a la sección metálica mientras el hormigón tenía las funciones de plataforma de rodadura y reparto transversal de cargas.

A partir de los años 30 del siglo XX, los puentes mixtos isostáticos con la losa superior de hormigón comprimida y definiendo el camino de rodadura y la estructura metálica inferior, descolgada y traccionada, comenzaron a estar presentes en la realidad constructiva.

La continuidad hiperestática del puente mixto de acero y hormigón no se abordó hasta las realizaciones posteriores a la Segunda Guerra Mundial. El puente mixto será heredero del importante desarrollo de los puentes de vigas metálicas con losa de hormigón. Éste desarrollo sólo se puede explicar gracias a una serie de innovaciones que transformaron profundamente la manera de proceder a la hora de ejecutar puentes y viaductos como son la generalización de la soldadura eléctrica, la utilización de la chapa laminada y la inclusión de la losa ortótropa en la flexión principal del tablero con solución de continuidad. Se puede afirmar que la colaboración entre acero y hormigón en la construcción de puentes alcanza su plena consecución, resistente y constructiva, en el puente mixto.

3.2.- Ensayos.

Todo ensayo realizado a un material de construcción supone un Control de Calidad sobre el mismo, que se hace imprescindible a la hora de asegurar una construcción fiable y resistente.

En el caso de la obra pública española, han de considerarse tres épocas claramente diferenciadas en lo que a evolución de ensayos y control de calidad realizados sobre los materiales de construcción se refiere. Desde 1900 a 1936, el control y ensayo de los materiales se basa simplemente en la apreciación visual y en la experiencia adquirida con su uso. En este período los ensayos ejecutados son muy escasos y su realización se reduce casi exclusivamente a los materiales cuyas industrias habían desarrollado los equipos de ensayos, que eran únicamente el cemento y el acero y en muchísima menor medida el hormigón. Cabe destacar dentro de este mismo período, el cambio conceptual introducido en torno al año 1916, momento en el que se comienzan a aplicar los conceptos estadísticos de base matemática al Control de Calidad en general, incluyéndose dentro de esta generalidad los materiales de construcción.

La segunda época, quizá la más crítica en lo que se refiere a la Calidad, y en particular para el Control de Calidad, es la comprendida entre 1936 y 1960. Es un período en el que los materiales, especialmente el cemento y el acero, están sometidos a un sistema de precios y suministros controlados, existe un potente mercado negro y por lo tanto son años en los que resultaba inútil cualquier pretensión de controlar la calidad de la obra, pues ya era un problema suficientemente complejo el conseguir los materiales para ejecutarla.

Por último la tercera época, que empieza en el año 1960 y se prolonga hasta nuestros días, es la de la implantación real de los sistemas racionales de control de calidad.

3.3.- Aditivos.

Tradicionalmente se ha considerado al hormigón como un material de construcción compuesto por tres componentes básicos: cemento, árido y agua. Sin embargo, en la actualidad, son ya muy pocos los profesionales del mundo de la construcción que no consideran al hormigón como el material de construcción por excelencia compuesto por los tres componentes anteriormente mencionados más un cuarto componente, indispensable en la mayoría de los casos, el aditivo.

La definición más comúnmente aceptada de lo que es un aditivo del hormigón, figura en el artículo 29º de la EHE (Instrucción de hormigón estructural) que se encuentra en vigor desde el año 2008, y que dice lo siguiente: “Aditivos son aquellas sustancias o productos que, incorporados al hormigón antes del amasado (o durante el mismo o en el transcurso de un amasado suplementario) en una proporción no superior al 5% del peso del cemento, producen la modificación deseada, en estado fresco o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento”.

Los primeros aditivos para hormigón empezaron a fabricarse y comercializarse en España en la segunda mitad de la década de los cincuenta y primeros años de los sesenta del pasado siglo XX. Eran los años en los que se recurría al aprovechamiento y la utilización de subproductos de otros procesos industriales como el cloruro cálcico resultante de la fabricación de Sosa, y las lejías sulfíticas procedentes de la fabricación de la pasta de papel. En esa época, a falta de otras referencias, se les consideraba “productos químicos”, y como tales estaban sujetos a las normas y órdenes del Ministerio de Industria en lo que a la utilización de productos peligrosos y normas de etiquetado se refiere, no existiendo en la mayoría de los casos algo que se pudiera asimilar a un certificado de calidad.

No fue hasta el año 1968, fecha en la que se aprobó la “Instrucción para estructuras de hormigón armado”, conocida también como EH-68, cuando se estableció gracias a la misma una directriz en lo que a técnica de construcción en general y del hormigón en particular se refiere, teniendo en cuenta ya el uso de los primeros aditivos del hormigón.

En la década de los setenta y de los ochenta, la fabricación de aditivos ya no se podía hacer en una “vieja cocina” como en algún momento se había llegado a pensar, si no que era preciso llevarla a cabo en fábricas cada vez más dotadas tanto en medios humanos como técnicos, ya que estas sustancias habían dejado de ser un producto químico más, para pasar a ser un producto de uso habitual en la fabricación del hormigón sujeto a lo expuesto en las diferentes Instrucciones para estructuras de hormigón armado publicadas durante estas dos décadas (EH-68, EH-73, EH-80, EH-82 y EH-88).

Es en el año 1981, cuando se constituye en el seno del Comité Técnico de Normalización “CTN 83-Hormigón”, el grupo de trabajo II presidido por D. Demetrio Gaspar, al que se le encomienda la misión de preparar la normativa española correspondiente al ámbito de los aditivos del hormigón, con dos objetivos fundamentales:

- a) Recopilar y estudiar la normativa internacional, así como la bibliografía relacionada con esta materia.
- b) Elaborar los documentos de trabajo base de los proyectos de norma española (proyecto UNE).

Fruto del trabajo realizado por parte de este grupo, en el año 1983 se publicó la primera norma española que versaba solo y exclusivamente acerca de aditivos, la norma UNE 83.200 de “Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Clasificación y definiciones”.

Dicha norma ha sido la referencia a seguir tanto en el sector de la fabricación de aditivos para el hormigón, como en el sector de la construcción durante muchos años, y ha estado vigente hasta que el 21 de Diciembre del año de 1988 se publica “LA DIRECTIVA EUROPEA DE PRODUCTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN (89/106/CEE)”, que provocará el siguiente gran cambio normativo para los aditivos.

Paralelamente a la directiva europea mencionada en el párrafo anterior el concepto de calidad en los procesos de fabricación irrumpe con fuerza en España con la aparición de las normas UNE EN-ISO 9000 cuya obtención por parte de cualquier empresa garantiza que ésta posee un sistema de calidad implantado, en funcionamiento y perfectamente auditado. La industria de los aditivos del hormigón obtiene las primeras certificaciones UNE EN-ISO 9000 entre 1990 y 1991. La implantación de estos sistemas de calidad en el sector de los aditivos, consiguieron no sólo un efecto de mejora de imagen, sino también una mejora efectiva de los procesos de producción, de los productos, de los proveedores y de todos los diferentes elementos que intervienen en la fabricación de un aditivo.

4. Estado actual. Factores identificativos de la resistencia a compresión del hormigón.

A modo de conclusión del presente artículo en este punto se realizará una breve síntesis de aquellos factores identificativos de la resistencia a compresión simple del hormigón que se han considerado más importantes. Éstos son la temperatura ambiente durante la elaboración y puesta en obra del hormigón, el aditivo utilizado durante los procesos mencionados y los ensayos a los que se ve sometido el hormigón.

4.1.- Influencia de la temperatura ambiental en la resistencia a compresión del hormigón.

Los efectos que los factores climatológicos causan sobre las propiedades del hormigón, son adversos y afectan tanto a los productores como a los usuarios finales.

Por otro lado, la temperatura juega un papel muy importante en la trabajabilidad del hormigón, siendo conocido que bajo condiciones de clima cálido, se requiere una mayor cantidad de agua para una determinada consistencia o asentamiento. El efecto de la temperatura en la demanda de agua es

principalmente producido por su influencia en la velocidad de la hidratación del cemento y en la tasa de evaporación del agua.

Asimismo, la trabajabilidad y la resistencia del hormigón están influenciadas por las propiedades de los áridos, las cuales son susceptibles de variaciones en función de la temperatura. En este sentido, la temperatura actúa sobre la velocidad de absorción y el rozamiento interno de los áridos, mientras que en el hormigón, tiene un efecto sobre su prestación y sobre su coste final.

A pesar de que el problema generado por las temperaturas ambientales adversas durante la elaboración y puesta en obra del hormigón ha sido ampliamente estudiado y que es innegable su importancia, la mayoría de los manuales de buena práctica, con planteamientos muy académicos, se limitan a recomendar algunas actuaciones sobre los constituyentes del hormigón reduciendo la temperatura de éstos o evitando que las elevadas temperaturas veraniegas incidan en cualquiera de las etapas de fabricación y puesta en obra del hormigón. Algunos ejemplos de estas prácticas pueden ser:

- a) Minimizar el contenido de cemento por medio de aditivos químicos y adiciones minerales.
- b) Utilizar cementos de bajo calor de hidratación.
- c) Crear sombras en los acopios y rociarlos con agua fría.
- d) Utilizar agua helada o incorporar escamas de hielo en el hormigón.
- e) Enfriar el hormigón fresco con nitrógeno líquido.

Sin embargo, estas actuaciones tienden a encarecer los costes de producción del hormigón, debido a que son poco prácticas o tienen una aplicación limitada, dependiendo del contexto de cada planta de producción de hormigón.

4.2.- Aditivos utilizados en la elaboración del hormigón.

Como ya se ha mencionado en el punto 3.3. del presente artículo, el 21 de Diciembre del año 1988 se publica “LA DIRECTIVA EUROPEA DE PRODUCTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN (89/106/CEE)”. Esta directiva establece que todos los productos de construcción que se comercialicen dentro de la Unión Europea deben estar certificados de acuerdo a unos requerimientos determinados. Esta certificación de producto está amparada por la marca CE, y por lo tanto todos los productos de construcción, entre los que se incluyen los aditivos del hormigón, que se comercialicen dentro de la UE llevarán obligatoriamente dicha marca CE.

En el año 2001 se publica la norma europea EN-934.2, que particulariza para los aditivos del hormigón todo el cuerpo normativo que éstos deben de cumplir y que sirve de base para la consecución de la correspondiente marca CE. Ésta norma se hace obligatoria en España a partir del año 2003 a través de

la publicación, en Febrero del año 2002, de la norma UNE-EN-934.2 que contempla la definición, clasificación, propiedades y métodos de ensayo que todos los aditivos del hormigón deben cumplir. Dicha norma es la versión oficial en español de la norma europea mencionada en las primeras líneas del presente párrafo.

Como breve reflexión acerca del futuro que se cierra sobre el uso de aditivos para la elaboración de hormigones cabe decir que en el siglo XXI, queremos construir más alto, más resistente, más durable. El hormigón está contribuyendo constantemente a alcanzar estos objetivos. Sin embargo esto no hubiera sido posible sin la inestimable ayuda de los aditivos.

Hace 30 años, el hormigón tratado con algún tipo de aditivo no superaba el 10% del hormigón producido. Hoy en día, prácticamente el 95% de la producción se trata con algún tipo de aditivo. Este aumento en la producción de hormigón tratada con aditivo nunca habría sido posible sin los cambios producidos y la innovación constante llevada a cabo en el sector de elaboración de aditivos del hormigón a lo largo de los años.

¿Y en el futuro qué? En el futuro, los aditivos se racionalizarán más y más, serán objeto de un mayor estudio, y gracias a la evolución de las diferentes normativas que garantizan su calidad, alcanzarán un grado superior de confianza que redundará aún más en su consumo, no sólo de aquellos aditivos que hasta hoy no han hecho si no mostrar tímidamente sus posibilidades, sino también de aquellos que el porvenir irá deparando como soluciones nuevas a viejos y permanentes problemas de la tecnología presente y futura del hormigón.

4.3.- Ensayos realizados sobre el hormigón.

El ensayo es uno de los principales eslabones dentro de esa cadena denominada “control de calidad” y que se podría definir como aquella actividad que permite garantizar que se obtiene la calidad especificada de la forma más económica posible. Garantía que se alcanza, entre otros, con la realización, por ejemplo, de ensayos sobre el hormigón con el fin de asegurar que dicho material cumple con la calidad requerida.

Con el fin de que se consiga un control de calidad limpio y sin ningún tipo de sombras, se llevará siempre a cabo un control tanto interno como externo sobre proyectos, materiales y ejecución de obras. Un caso particular puede servir de ejemplo claro para discernir entre ambos tipos de control. En el caso de una empresa de producción de hormigón preparado, su control interno está destinado a alcanzar un hormigón que cumpla las especificaciones quedándose por encima de los valores garantizados pero tan cerca de ellos como sea posible. Suministrar un hormigón de calidad superior no conduce más que a aumentar innecesariamente el coste y a proporcionar al cliente una calidad que no necesita, pues si la hubiese necesitado ya la hubiera especificado en el contrato. El Control Externo, es decir, el realizado por la representación de la propiedad, tiene como misión la comprobación de que se alcanza la calidad especificada, sin preocuparle, en principio, que esa calidad se rebase considerablemente. Ambos controles son eslabones del control de calidad, entendido en un sentido amplio y de ninguna manera

son controles ni antagónicos ni sinónimos, sino controles complementarios. De hecho la práctica diaria de las organizaciones de control muestra que, cuando como es habitual, el control interno y el control externo coinciden en sus estimaciones, ambas poblaciones de resultados pueden ser sumadas y manejadas conjuntamente a muchos efectos.

5. Referencias.

ADAM, M. (1975). "Aspectos del hormigón". Editores técnicos asociados. Barcelona.

BERNABEU, J. (27-29 de Enero de 2005). "Precedentes históricos de colaboración entre acero y hormigón en la construcción de puentes". In: Actas del cuarto Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Cádiz.

CALAVERA, J. (18 de Julio de 2003). "Cálculos y conceptos en la historia del hormigón. In: Discursos académicos de la Academia de ciencias e ingeniería de Lanzarote". Lanzarote.

CALAVERA, J. (Abril, 1999). "El control de calidad". Revista de Obras Públicas, pp 217-220. Madrid.

CALAVERA, J. (Octubre, 1995). "La inspección y ensayo. Organizadores de control de calidad y laboratorios". Revista de Obras Públicas, pp 73-77. Madrid.

DE CASTRO, E. (1932). "La importancia de los ensayos de hormigón". Revista de Obras Públicas, Tomo I, pp 424-426. Madrid.

FUENTÈS, A. (1978). "Hormigón pretensado: concepción, cálculo y ejecución". Editores técnicos asociados. Barcelona.

ORTIZ, J.A. AGUADO, A. AGULLÓ, L. GARCÍA, T. ZERMEÑO, M.E. (Julio-Septiembre, 2008). "Estudio experimental sobre la influencia de la temperatura ambiental en la resistencia del hormigón preparado". Revista Materiales de construcción, pp 7-22. Madrid.

PÁEZ, A. (1986). "Hormigón armado". Editorial Reverté. Barcelona.

PEÑA, A. (1953). "Un siglo de hormigón armado en España". Revista de Obras Públicas, Tomo I, pp 23-32. Madrid.

PERIS, J. (Mayo, 2006). "La calidad en los aditivos de hormigón". Revista de Obras Públicas, pp 27-34. Madrid.

PERLES, P. (2005). “Hormigón armado”. Editorial Nobuko. Buenos Aires. SIMONNET, C. (2009). “Hormigón. Historia de un material”. Editorial Nerea. San Sebastián.