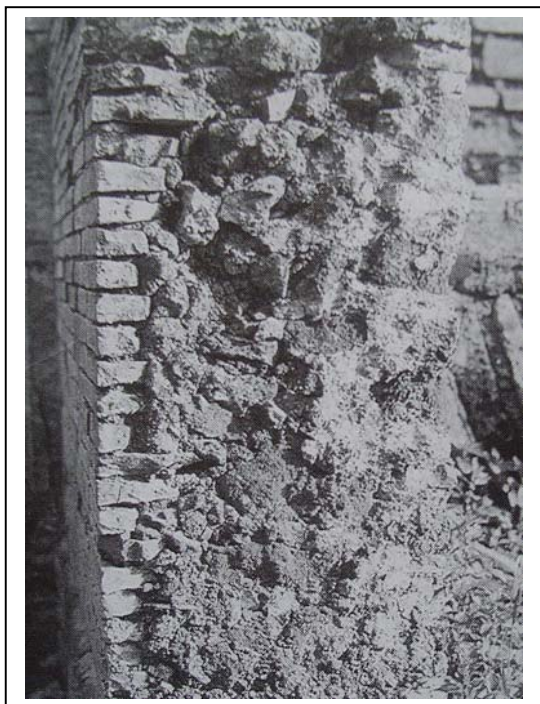


## 2.- HORMIGÓN

### 01

## Historia del hormigón



La palabra "**hormigón**" tiene su origen en el parecido a un bizcocho preparado con almendras, harina, leche y huevos. Las almendras estaban enteras y recordaban a los áridos gruesos incluidos en el mortero. Este bizcocho tenía el nombre de "formigò" del cual ha derivado el vocablo hormigón. Los vocablos francés "**béton**" y el alemán "**beton**" derivan del latín "bitumen/bituminis" que significa "lodo que se iba espesando". El vocablo inglés "**concrete**" también deriva del latín teniendo el significado de denso, compacto. El vocablo "**clinker**" da nombre al producto intermedio en la fabricación del cemento, principal componente de este último. Se trata del producto obtenido por calcinación a 1.500°C de una mezcla de caliza y arcilla. Este producto producía al deslizarse por los hornos rotatorios un ruido "clink, clink,..." del que toma el nombre onomatopéyico de "clinker". La palabra "mortero" viene del vocablo romano

"mortarium" que significa sartén para mortero, dónde se preparaba por percusión el antiguo mortero romano.



No se tiene certeza quien descubrió o utilizó por primera vez **el hormigón**. Es probable que al mismo tiempo que el hombre dominó el fuego también descubrió el concepto de hormigón. Uno puede imaginar al hombre primitivo junto a su fogón, ubicado en una cavidad, en la cual existen piedras calcáreas, yeso y arcilla. La alta temperatura logra carbonatar la piedra, que se transforma en polvo. Luego al caer un poco de llovizna, el polvo y las piedras se convierten en una masa sólidamente unida. Hallazgos contemporáneos en Lepensky, junto al Danubio, permiten afirmar que durante la edad de piedra,

hace 7.500 años, los habitantes construían el suelo de sus viviendas uniendo tierra caliza, arena, grava y agua. Esta mezcla puede ser considerada como un hormigón rudimentario.

Los egipcios por su parte, utilizaron como aglomerante, yeso cocido. Excavaciones permiten establecer que hace 4.500 años, los constructores de la pirámide de Cheops, utilizaron hormigones primitivos.

Los griegos, hace más de 2.300 años, utilizaron como aglomerante, tierra volcánica que extrajeron de la isla de Santorín. También existen indicios para decir que utilizaron caliza calcinada que mezclaron con arcilla cocida y agua.

El pueblo romano también usó hormigón en sus construcciones, para lo cual utilizaron cal como aglomerante. Se puede mencionar la construcción del alcantarillado de Roma, hace 2.300 años. Ellos elaboraban sus fábricas (*opus caementicium*) con una mezcla de guijarros (*caementa*) y aglomerante de cal y puzolana. La palabra pasó de la piedra al aglomerante. De ahí “**cemento**”

Posteriormente, hacia el año 200 antes de Cristo, se produjo un significativo avance en la optimización de los aglomerantes para construcción: el cemento Romano. Desde un lugar cercano al Vesubio obtuvieron la Puzolana, constituida básicamente por sílice. Este material mezclado con cal y agua permite conformar un aglomerante hidráulico, (dicho de una cal o de un cemento que se endurece en contacto con el agua).



El teatro de Pompeya (55 años a.C.), se edificó con este material. Posteriormente se utilizó en la construcción de los baños públicos de Roma, el coliseo y la basílica de Constantino. La prolongada duración de estos edificios nos hace concluir que los constructores romanos utilizaban una dosificación perfectamente calculada y empleaban técnicas adicionales para mejorar la resistencia del material de construcción.

El famoso historiador Plinio, en relación a la construcción de un pozo de agua, escribió: “El fondo y los lados se golpean con martillos de hierro”. De esto se desprende que

los romanos utilizaron la compactación y el apisonado.

Como los morteros de cal viva no resistían muy bien la acción del agua durante períodos largos, se presume que a ésta mezcla se incorporaron toda clase de agregados y durante estas pruebas empíricas se descubrió que la arena proveniente de ciertas rocas volcánicas tenía mayor resistencia y duración tanto en aguas dulces como saladas. Por ejemplo, los griegos emplearon una toba volcánica extraída de la Isla de Santorín y los romanos usaron un material con apariencia de arena rosada que se encuentra en gran cantidad alrededor de la bahía de Nápoles, el cual es una ceniza volcánica que contiene sílice y alúmina que se combinan químicamente con la cal y dan como resultado lo que luego se conoce como cemento puzolánico. Este nombre obedece a que se le encontró por primera vez en la región donde estaba la población de Puzzulí, cerca del Vesubio.

Con éste material se construyó el teatro de Pompeya. Existen evidencias de intentos romanos para reforzar algunas de las estructuras que construyeron con barras y láminas de bronce, sin embargo, como los resultados no fueron satisfactorios, porque se presentaban agrietamientos y descascaramientos; diseñaron sus obras para soportar cargas de compresión, resultando estructuras con muros excesivamente gruesos y pesados, algunos de más 8 metros de espesor. Para reducir el peso de los muros se optó por aligerar el hormigón mediante la inclusión de jarras de barro en su masa, la utilización de agregado de baja densidad de procedencia volcánica y el diseño de arcos.

Con está técnica de hormigón aligerado fueron construidos algunos arcos del coliseo romano, la Basílica de Constantino y también el domo del panteón, el cual es una de las estructuras antiguas más interesantes y fue la de mayor luz (diámetro 50 metros ) durante mucho tiempo. Obras que dan testimonio de la propiedad que tiene el hormigón para soportar los embates de la naturaleza y permanecer durante largo tiempo.

Con la caída del imperio romano declinó el uso del hormigón y muchos de los conocimientos desarrollados desaparecieron completamente. La técnica comenzó a ser recobrada en Inglaterra y se tienen evidencias que hacia el año 700 d.C se construyeron en Saxon elementos mezclados de hormigón en forma de recipientes superficiales en la roca, de diámetro 2 y 3 metros, encontrándose que empleaban en la fabricación del hormigón y el mortero una caliza del sector como agregado y cal quemada como cementante. Los Normandos emplearon hormigón como material llenante en muros que luego eran recubiertos con piedra. De esta técnica da fe la abadía de Reading en la región de Berkshire, donde el recubrimiento de piedras cayó totalmente y dejó al descubierto el esqueleto en hormigón.

Durante la edad media y el renacimiento el hormigón fue poco empleado. Posiblemente no se usó en gran escala por la mala calidad debida a una cocción incompleta de la cal, descuido en la mano de obra y carencia de tobas Volcánicas. Después del siglo XII, mejoró la calidad y de nuevo se utilizó gracias a una perfecta calcinación de la cal y al uso de algún material similar en propiedades a las tobas volcánicas anteriormente mencionadas. El Trass de Andernach, junto al Rhin, es una obra de ésta época construída con el material descrito.



La catedral de Salisbury tiene una cimentación en hormigón que aún permanece en buen estado; en la torre blanca, de la famosa torre de Londres, también se empleó ese material para su construcción. La casa Moretón en Cheshire, construída entre 1559 y 1580 tiene

un piso superior hecho en un material que combina la cal, la arena y la ceniza de madera, el cual fue empleado en los cuartos que tenían chimeneas, con el fin de evitar los riesgos de incendio en los pisos de madera.

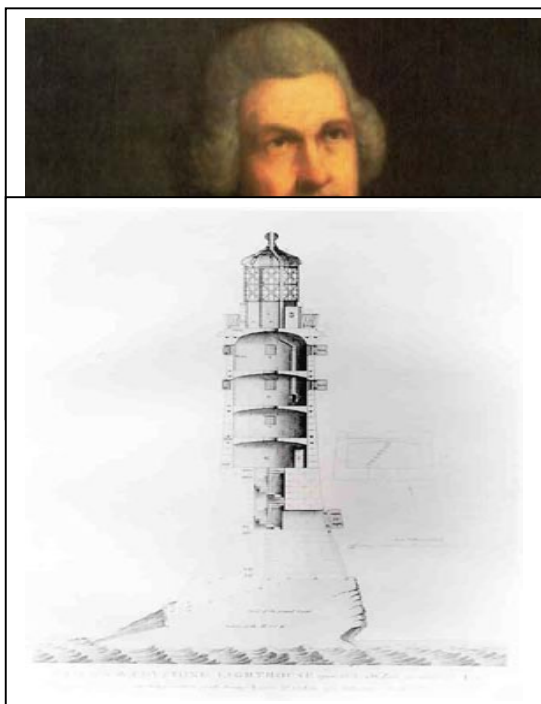
En Latinoamérica, hay muestras de desarrollo de materiales cementantes y estructuras imponentes como las ciudades construidas por los Mayas y los Aztecas en México o las construcciones de Machu Pichu en el Perú, entre otras. Obras que resultan tan importantes como las pirámides de Egipto, e indican el gran desarrollo de la Ingeniería y de la tecnología del hormigón, en esas civilizaciones precolombinas.

Durante los siglos posteriores, los avances fueron escasos hasta el punto de que solo llegó a producirse un mortero débil hecho únicamente de cal y arena. A principios de la edad moderna se presentó una disminución general en la calidad y la crisis llegó al punto, de acabar con la fabricación y el uso del cemento.

Solamente hacia el siglo XVIII, en el cual se revivió el auge por la investigación, un ingeniero de Leeds fue comisionado para que construyera por tercera vez un faro en el acantilado de Edystone en la costa Cornwall, situado a unos 8 km de Plymouth en Inglaterra. Los dos primeros habían sido construidos en madera, siendo destruidos la primera vez por un incendio y la segunda por un vendaval. El encargado, John Smeaton, decidió adelantar una serie de estudios tendientes a encontrar la mejor solución para que el faro pudiera soportar el azote casi continuo del agua y, de estos estudios dedujo que la única manera de garantizar la resistencia de la construcción debía ser empleando piedra unida con un mortero producido con cal calcinada para formar una construcción monolítica la cual debía soportar en la parte inferior, la acción constante de las olas y de los vientos con alto contenido de agua de mar.

El faro se construyó con este mortero y rocas, en una operación que tardó 6 semanas, entrando en servicio en octubre de 1759. En el año de 1876 una parte de la estructura se debilitó y el faro fue reemplazado por uno más grande.

A petición de los habitantes de Plymouth, el antiguo faro fue desmontado hasta la cimentación y vuelto a erigir en esa ciudad, como monumento, el cual se conserva actualmente. La cimentación del faro todavía permanece en su sitio, desafiando al mar, después de más de 200 años de construída.



En los años siguientes, a este hallazgo, se desarrollaron muchos tipos de cementos hidráulicos y a partir de ese momento, mejora la calidad de los morteros y comienza el desarrollo del hormigón, gracias a los adelantos conseguidos en el conocimiento de los cementos. Así se inicio una carrera por obtener cemento de construcción y en 1811, Dabbs obtuvo una patente para producirlo empleando arcilla y polvo de los caminos.

Posteriormente el 21 de octubre de 1824 Joseph Aspdin un constructor de Leeds (Inglaterra), calcinó en un horno una mezcla

de tres partes de piedra caliza por una de arcilla, la cual molió y pulverizó y consiguió la patente para producir el primer cemento Portland; así llamado porque la coloración del mismo le recordaba al inventor, el color grisáceo de las rocas de Portland. La patente solo nombraba los ingredientes básicos, sin entrar en detalles de fabricación.

A Aspdin se le conoce como el inventor del cemento Portland, aunque su método de fabricación fue conservado con mucho secreto y su patente, escrita en forma confusa y oscura, solo se empleaba para producir ladrillo, con apariencia de las rocas de Portland.

La primera fábrica de cemento se instaló en Wakefield y funcionó entre 1826 y 1828, siendo luego demolida para dar paso a una vía férrea. De esa época se conserva un edificio, la fábrica de armas de Wakefield, muy cerca a la antigua fábrica de cemento, cuya fachada esta confeccionada con cemento Portland.

La primera construcción en la cual se empleó en gran escala el hormigón, fue la casa construida por Jhon Bazley White en Swanscombe, Kent, (1835). Allí se empleó en muros, tejas, marcos de ventanas, trabajos de decoración e incluso en gnomos de adorno en el jardín delantero. Lo único que no está construido en ese material es el entrepiso, puesto que aún no se conocía la técnica del hormigón reforzado.

Curiosamente una construcción de la época empleó cemento Portland por accidente: un barco fue cargado con barriles conteniendo cemento, los cuales fueron saqueados por los habitantes de Sheppper, creyendo que contenían whisky y se encontraron con cemento que ya había endurecido, decidieron entonces emplearlo en la construcción de un edificio público: el "barco en la playa" (1848), el cual aún permanece.

El proceso de producción de cemento fue mejorado por Isaac Johnson en 1845 cuando logró con éxito fabricar este producto quemando una mezcla de caliza y arcilla hasta la formación del Clinker, el cual después fue pulverizado obteniendo un compuesto fuertemente cementante. Johnson encontró que la temperatura de calcinación debía elevarse hasta el máximo que pudiera lograrse con métodos de ese tiempo y describió sus experimentos más explícitamente que Aspdin.

Tomando como base los experimentos de Johnson, la fabricación de cemento Portland se inició en varias plantas, no solo en Inglaterra, sino también en toda Europa. La cantidad producida fue muy pequeña.

Unicamente hasta el año 1900 aproximadamente, empezó el crecimiento notable de la industria del cemento, debido fundamentalmente a dos factores: en primer lugar, los experimentos realizados por los químicos franceses Vicat y Le Chatelier y por el alemán Michaélis, con los cuales se logró producir cemento de calidad uniforme, que pudiera ser usado en la industria de la construcción. En segundo lugar, dos invenciones mecánicas muy importantes se hicieron al principio del siglo: los hornos rotatorios para la calcinación y el molino tubular para la molienda. Con estas dos máquinas, pudo producirse el cemento Portland en cantidades comerciales. A partir de ese momento, se desarrolla el rápido crecimiento de esta industria, que hoy produce un material de construcción imprescindible, dentro del actual sistema de vida.

El desarrollo del hormigón propiamente dicho como material de construcción, empezó hacia principios del siglo IX, poco después de la obtención de la patente del "Cemento

Portland" (1824) y posteriormente se afianzó con la invención del hormigón armado que se atribuye al jardinero parisiense Jack Monier, quien, hacia 1861, fabricó un jarrón de mortero de cemento, reforzado con un enrejado de alambre.

Este material, se vino a conocer como ferro-cemento, un siglo más tarde. La verdad, es que para entonces, ya se habían construido diversos objetos aplicando la misma idea, pero sin que tuvieran trascendencia en la industria de la construcción. Así por ejemplo Lambot construyó en 1850 una barca de cemento reforzada con hierro, que pudo verse en la Exposición Universal de París del año 1855 y que aún se exhibe en el Parque Miraval.

En 1861, el Ingeniero francés Coignet estableció normas para fabricar bóvedas, vigas, tubos, etc., con este novedoso material y presentó, asociado con Monier, algunos ejemplares en la exposición del año 1867. En este mismo año, Monier obtuvo sus primeras patentes para hacer estos elementos.

La primera referencia bibliográfica del uso de hormigón armado aparece en 1830 en una publicación titulada "*Enciclopedia de la arquitectura de casas de campo, granjas y aldeas*", la cual sugiere emplear una malla de varillas de hierro embebidas en hormigón, para conformar un techo. En 1848 despertó gran interés el primer bote del mundo en hormigón reforzado, construido por el abogado francés Jean Louis Lambot, quien empleó una malla de varillas de hierro y hormigón con agregado muy pequeño recubriéndola. Esta obra fue exhibida con éxito en la exposición de París de 1855.

Pero la persona a quien históricamente se le ha dado el mérito de haber desarrollado el hormigón armado es el constructor William Wilkinson, de Newcastle, Inglaterra.

Un invento relativamente reciente, sucedido en 1903 en la ciudad de Hamburgo, Alemania, revolucionó el desarrollo de la industria del hormigón y de la construcción, cuando el Ingeniero Juergen Hinrich Magens, hizo transportar el primer metro cúbico de hormigón, producido en una planta mezcladora estacionaria, en un vehículo especial tirado por caballos hacia una obra distante 11 Km. El inventor llamó al producto: hormigón transportado y recibió el registro de la patente, por parte de la oficina alemana de patentes.

La idea de transportar una mezcla de áridos, aglomerante y agua, en estado fresco, hacia una obra fue planteada por el Ingeniero Inglés Deacon, quien vislumbró las ventajas que ello traería; pero los alemanes convirtieron la idea en un hecho.

El Ingeniero Magens inició ensayos en Hamburgo y con la tecnología tradicional de los albañiles residentes al norte de Berlín, quienes transportaban en vehículos tirados por caballos, mortero premezclado de arena mojada con cal hidratada hacia las obras dentro de la ciudad, desde hacia más de 20 años; y conociendo que el hormigón no fragua a temperaturas por debajo de cero grados centígrados, inició sus experimentos y llegó a transportar hormigón grandes distancias en ferrocarril o en carros de caballos, preparándolo y enfriándolo antes de transportarlo.

Poco después Magens descubrió que era posible obtener el mismo resultado, almacenando los agregados a bajas temperaturas o mediante la aplicación de agua fría,

para hacerlos descender a una temperatura menor de la medio-ambiental y mantenerlos así durante cierto tiempo.

Por último en 1906, Magens descubrió que el hormigón fresco, enfriado vibrado, permite un transporte más largo; y ese fue su invento más importante. El inventor consiguió por sus descubrimientos tres patentes, la última de ellas en enero 6 de 1907.

Posteriormente instaló 4 plantas mezcladoras de hormigón, las primeras de todo el mundo, y tras de una intensa labor de convencimiento de la bondad de los principios del uso del hormigón transportado, tanto al gobierno como a los industriales, el método fue empleado y los constructores empezaron a aprovechar el nuevo sistema.

En la década de 1940 se desarrolla el hormigón pretensado impulsado por la aguda escasez de acero en Europa, al finalizar la guerra y comenzar la reconstrucción.



Es Eugene Freyssinet, nacido en Corneze, Francia en 1879 quien impulsa este avance desde los primeros años del siglo, experiencias que no pudieron fructificar por la falta de aceros de alta resistencia y hormigones de alta calidad.

En 1928 registró su primera patente y estableció su teoría de hormigón pretensado. El título de su publicación fue "*Una revolución en el arte de construir*".

pretensado en los Estados Unidos y  
En 1952 se crea la F.I.P. (Federación Internacional del Pretensado), en Cambridge, para difundir la técnica del pretensado.

En el año 1951 se levanta un puente

La idea fundamental del pretensado es someter a compresión al hormigón antes de cargarlo, en todas aquellas partes en que las cargas produzcan tracciones. De esta forma, hasta que estas compresiones no son anuladas, no aparecen de hecho tracciones en el hormigón.

La viga de hormigón pretensado resiste, pues, la flexión hasta un cierto límite, sin que aparezcan tracciones reales, ya que la zona de tracción estaba sometida a unas compresiones previas.

