



EL HORMIGON I SUS APLICACIONES



Bajo este título acaba de salir a luz en Bélgica (1) un estudio mui completo e interesante, que nos parece útil dar a conocer en Chile, donde la buena piedra de construccion es escasa, el ladrillo caro i, al contrario, muy abundante el cascajo de sus ríos, costando poco el recojerlo.

M. Armand Mahiels, el autor, es un ingeniero mui distinguido que, desde 1888 hasta 1891, ha dirigido, por cuenta de una compañía, una seccion importante de los 21 fuertes que el Gobierno belga ha erijido en defensa de Lieja i Namur, i cuya construccion ha necesitado mas de un millon de metros cúbicos de concreto. En este puesto, M. Mahiels consideró como un deber enterarse de todo lo que se había publicado acerca del hormigon. Ha recopilado así un sinnúmero de documentos, i dice en el prólogo que su libro es un compendio de todos los datos prácticos que de ellos se desprenden. Aun en esa forma, la tarea que se imponia el autor era larguísima i odiosa; pues el hormigon es un compuesto excesivamente variable en sus elementos i en sus leyes, i con él se ha hecho toda clase de albañilería, tanto en seco como en el agua dulce o en el mar. Pero

(1) Imprenta de Aug. Benard en Lieja (Bélgica).

el libro que analizamos es mas que un compendio: es una obra sintética, un tratado completo ordenado del hormigon, desde la eleccion i preparacion de sus elementos, hasta los andamios i demas instalaciones que se necesitan para su preparacion i empleo.

Es ademas orijinal todo lo relativo a los fuertes del Mosa, como son: los numerosos ensayos químicos i físicos de varias mezclas; el dragaje, acarreo, clasificacion i lavado del cascajo; la descripcion i comparacion de las distintas faenas; la maquinaria, el maderámen i hasta los precios conseguidos. Esta es, sin duda, la parte de mayor mérito, en la que se conoce que el autor ha intervenido mui de cerca, con el anhelo de abaratar en lo posible todas las maniobras.

A los ingenieros que quisieran usar el hormigon, les aconsejaríamos que consulten el libro de M. Mahiels ántes de redactar el pliego de condiciones facultativas; pues así se darán cuenta cabal de la composicion mas adecuada a la obra de que se trata, de los materiales por utilizar, de las manipulaciones i del costo. *El hormigon i sus aplicaciones* está escrito por un ingeniero de reconocida competencia i de mucha práctica, i será tanto mas útil a los constructores cuanto que el uso o empleo del hormigon va tomando cada dia mas desarrollo.

El hormigon, que se ha llamado tambien *pedra artificial*, *pedra continua*, se conoce desde los tiempos mas remotos. Por los historiadores i los restos de construcciones antiguas, se sabe que en Babilonia i en Egipto, como en Grecia e Italia, se usaba la albañilería de monólito, es decir, de piedras pequeñas e irregulares, embebidas en una argamasa de cal o de cemento; hasta los paramentos se hacian a veces con sillares amoldados de la misma composicion.

Natural es suponer que el hormigon sea la primitiva albañilería de mezcla: el descubrimiento de un compuesto pastoso, adherente con la piedra i capaz de fraguar al aire o en el agua, habrá orijinado el hormigon en cuya composicion se aprovechaban los guijarros, a imitacion de los conglomerados naturales, que bastaba mezclar i apisonar en un molde mui sencillo para conseguir la piedra artificial, tal como una muralla de adobones.

Es pues mui sencilla i barata la albañilería de hormigon;

pero su resistencia depende de la argamasa que envuelve las piedras. En la época romana tuvo su mayor boga el hormigon, por ser excelente el cemento que usaban los constructores. De hormigon eran casi todas las obras: cimientos i edificios, muros i bóvedas, acueductos i alcantarillas, puentes i estanques i hasta la calzada de sus caminos; se ven aun muchos vestijios de estas construcciones en toda la estension del antiguo imperio romano.

Sea por haberse agotado los depósitos de cemento natural, sea por descuidos en la fabricacion del cemento artificial, se perdió la receta del buen concreto durante muchos siglos. Los ingenieros, despues de las investigaciones de Vicat (1812), han vuelto a ocuparse de las mezclas o, mas bien, de la cal i de sus derivados: el cemento i la puzolana; mejorándose la fabricacion de estos productos, la piedra artificial ha reaparecido no solo en los cimientos, sino tambien en el cuerpo mismo de la obra. Lo que mas impulso ha dado al uso del hormigon, ha sido la fabricacion del cemento Portland o de fragua lenta. El cemento es, como el acero, un compuesto de equilibrio poco estable; los dos han dado mucho que hacer a los químicos, fabricantes e industriales, ántes de conocerlos íntimamente. Hace como veinticinco años que se fabrica con éxito el cemento Portland i que los ingenieros pueden distinguirlo de otros productos parecidos o falsificados: en este corto período, la industria del cemento ha tomado un vuelo que puede compararse a lo que se ha visto con el acero. Comparacion justa, pues el cemento es, en las obras de albañilería i máxime de hormigon, lo que el acero en las construcciones metálicas. La Europa produce hoi anualmente como diez millones de toneladas de cemento.

Fuera de los cimientos, pocas tentativas se han hecho con el hormigon de cal. Se le consideraba inferior a la mampostería, i los ingenieros lo usaban principalmente en las fundaciones en agua; mas, con el cemento Portland, la piedra artificial adquiere mayor resistencia i pronto su empleo se estiende a los macizos en seco, enterrados primero, al aire despues, hasta edificar casas enteras de hormigon. Componiéndose éste por síntesis i en la misma cancha de la obra, fácil es variar la lei de la mezcla conforme a la resistencia que se requiera i, con esto, se consigue una

economía sin perjuicio alguno para la construcción. En un puente, por ejemplo, el relleno de los tímpanos se hará con un hormigón pobre; mientras que los estribos i la bóveda serán de hormigón mas cargado de cemento.

Por medio de moldes se obtiene, con el hormigón, un monólito de la forma i dimensiones que se quieran, relleno con él los espacios mas irregulares o fabricando grandes bloques que, por su peso, resisten a las mas fuertes olas. En los gruesos macizos se consigue hacer paramentos con sillares naturales o artificiales siendo el interior de hormigón. Aumentando en lo suficiente la proporción de la cal o del cemento, el hormigón se hace impermeable i muy adecuado para una presa o toma de agua, un estanque, una ataguía i cualquiera obra que sufra la presión del agua. Es tambien muy a propósito para el revestimiento de los túneles, donde la colocación exacta de las dovelas es muy difícil i la vigilancia siempre deficiente.

Una nueva e importantísima aplicación se ha hecho de la *piedra continua* por la ingeniería militar. Resulta de experiencias repetidas que el monólito de hormigón resiste, mas que cualquiera otra albañilería, los efectos de las balas explosivas i las últimas fortificaciones se han hecho todas con concreto de cemento.

Sin pasar en revista todas sus aplicaciones, lo que sería muy largo, diremos que el hormigón puede sustituir a toda clase de albañilería. En el agua es obligación usarlo i para llenar los espacios irregulares, como los cajones de aire comprimido, los cilindros, los pilotajes, etc., el hormigón es de uso jeneral. En los cimientos, tanto de edificios particulares como públicos, el hormigón es mas conveniente i mas económico que la mampostería. En la elevación se deben consultar los paramentos, los adornos i la dificultad de sostener el molde, condiciones todas que favorecen la albañilería ordinaria.

El uso del hormigón en Chile presenta señaladas ventajas: la homogeneidad del macizo i su resistencia a la fractura; la ejecución rápida i sencilla con solo el obrero ordinario; la utilización en bruto de materiales muy abundantes i buenos; i, en fin, la economía que resulta de esas condiciones reunidas.

Siendo el hormigón una mampostería hecha de una vez i sus

elementos constitutivos la piedra o el ladrillo partido i la liga, que comprende la arena, la cal, la puzolana i el cemento, M. Mahiels los estudia sucesivamente, principiando por el cemento.

Siempre se ha dado el nombre de CEMENTO a una liga cualquiera, de composicion mui variable, jeneralmente HIDRÁULICA, es decir, que fragua en el agua. M. Mahiels hace una historia mui interesante de estas mezclas, hasta llegar a la fabricacion del verdadero cemento, cuya clasificacion reconoce el *cemento de fragua rápida* o *cemento romano*, i el *cemento de fragua lenta* o *cemento Portland*, denominaciones que conviene precisar con los caracteres propios a cada uno. El primero se llama tambien *cemento natural*, porque se obtiene jeneralmente, como la cal, cociendo directamente una caliza arcillosa; miéntras que, para obtener el segundo, se prepara una mezcla especial i se llama por esto *cemento artificial*. Mas la diferencia entre ámbos es otra: la proporcion de arcilla es mayor i la temperatura de cocimiento menor en el cemento romano que en el Portland. El autor indica los procedimientos de fabricacion, los distintos productos de esta industria, sus caractéres químicos i físicos, para de ahí desprender las cláusulas que, segun la clase de la obra, el ingeniero debe estampar en los pliegos de condiciones facultativas. Analizando estas cláusulas insiste, con muchísima razon, sobre la densidad i su determinacion, pues el peso de un litro de cemento en polvo varia no solo con la temperatura del cocimiento, sino tambien con la finura del polvo, con el tamaño del vaso que sirve en la esperiencia i segun el modo de llenarlo. En los minuciosos detalles de este capítulo se conoce que el autor ha tropezado con la dificultad práctica de acertar con seguridad en la buena calidad del producto.

Conociendo ya la composicion del cemento i las principales combinaciones químicas que lo hacen fraguar, los fabricantes han utilizado primero las calizas arcillosas naturales agregándoles la porcion de arcilla necesaria; pero el mismo resultado se puede conseguir agregando la cal a la arcilla o mejor a la puzolana, que ya contiene algo de este elemento. Esta consideracion se puso en práctica hace unos diez años, utilizando la escoria de los hornos de fundicion. De aquí sale el *cemento de escoria*, cuya fabricacion ha tomado en Europa mucho des-

arrollo i poco a poco va haciendo competencia al cemento ordinario en todas las obras públicas. La escoria estorba tanto en la industria del hierro, que los fabricantes belgas abonon una cantidad a las administraciones de ferrocarriles que quieren usarla como lastre. Aun escojiendo, esta materia prima cuesta poco i por esto el cemento de escoria es relativamente barato.

La *puzolana* es un producto volcánico natural. Tambien se la obtiene artificialmente i forma, en union con la cal, una mezcla hidráulica excelente, pero de menor enerjia que el cemento. No todas las puzolanas son buenas i la composicion química no es un elemento seguro de apreciacion, debiendo, ademas, comprobarse por los caracteres físicos propios a cada cantera. El ingeniero, ántes de admitir una puzolana desconocida, consultando el color, el aspecto, la densidad, el estado higrométrico i la dureza, ensayará las distintas muestras para señalar sus cualidades en el pliego de condiciones facultativas. Por el poco desarrollo del párrafo, se nota que el autor es mas bien partidario del cemento. Sin embargo, como en Chile los volcanes deben de haber arrojado mucha puzolana, el estudio de esta materia es uno de los muchos que requieren un laboratorio o taller de ensayos.

M. Mahiels ha reunido en un solo capítulo el estudio sobre la arena i los guijarros con que se ha constituido el esqueleto del hormigon de los fuertes belgas. Las dragas han sacado del rio 1.200,000 metros cúbicos de cascajo. Tal como se extraia se descargaba sobre cribas i los carros lo recibian clasificado de esta manera: la *arena*, comprendiendo los granos de hasta 2 centímetros; el *guijarro*, que no pasa de 6 centímetros i los *morillos*, que se trituran para reducirlos a este tamaño. Así se aprovecha el desmonte entero que se saca del cauce de los rios. Se quita la tierra, cuando la hai, lavando la arena i los guijarros, ántes o despues de cribarlos. El autor indica las instalaciones, el precio de las distintas manipulaciones i el aumento de volúmen que resulta de la separacion; pues mezclando un volúmen A de arena con otro B de guijarro, el conjunto C será menor que $A+B$ i, al contrario, un volúmen C' de cascajo se descompondrá en otros dos A' de arena i B' de guijarro, cuya suma sobrepasa C' ($A+B < C$ i $C' > A'+B'$).

El capítulo 4.º está dedicado a la mezcla i el 5.º al hormigon,

especialmente con base de cemento. Este es el factor principal de la resistencia i del costo; su dosis varia desde un minimum de 100 kilogramos por metro cúbico de arena, hasta el máximo de resistencia, que corresponde generalmente a 1,300 kilogramos o un metro cúbico (mucho ménos con el cemento de escoria).

La arena gruesa favorece la resistencia, la cual depende tambien de la temperatura, de la calidad i cantidad del agua. La impermeabilidad se consigue rellenando completamente los huecos de la arena, lo que supone un minimum de 350 kilogramos de cemento por metro cúbico de arena. Si la evaporación del agua origina filtraciones, éstas duran poco tiempo.

Tratándose del hormigón, tambien se admite que la dosis mínima ha de ser 100 kilogramos de cemento por metro cúbico de producto i de ahí se fija la lei de la mezcla, segun la composicion de aquél. Sea un hormigón de 1 mezcla por 2 piedra: por experiencia se sabe que esas tres unidades se contraen produciendo $2\frac{1}{4}$, de modo que en la liga han de entrar 225 kilogramos de cemento por metro cúbico. Por experiencia tambien se determina, en la misma cancha i con la arena que se propone emplear, el volúmen de ésta que, triturado con 225 kilogramos de cemento, produce un metro cúbico de mezcla, pues se suele siempre medir la arena i no pesarla.

La fabricacion de la mezcla, tanto a mano como a máquina, está detallada con indicacion del costo i de la produccion diaria.

Un párrafo especial trata de la mezcla de cemento i cal que M. Vicat desechara i con él casi todos los ingenieros, basando su opinion en que el cemento ha de formar un silicato i la cal un carbonato de calcio. Nuevos análisis mas completos han probado que las reacciones son mas complejas, i la experiencia ha confirmado que el cemento mejora la mezcla de cal. A su turno ésta, mas suave, favorece la trituración i la impermeabilidad, al mismo tiempo que abarata la argamasa. En los revoques de cemento es indispensable agregar alguna porcion de cal a la mezcla.

Conociendo ya los factores, se pasa a juntarlos para formar el hormigón. El autor llama *hormigón lleno*, el que lleva bastante liga para rellenar los huecos de la piedra i *hormigón hueco*

el que conserva una parte de los huecos, donde la liga no envuelve todas las piedras i que no puede ser impermeable. Con éste, mas que con el primero, importa que la piedra sea dura. En cuanto a la forma i dimensiones de los elementos, consultando la esperiencia i la teoría, se sabe: que el cemento adhiere bien tanto con la piedra redonda como con la partida; que los huecos i las juntas son menores con la piedra redonda i de regular o gran tamaño; que las manipulaciones i la homogeneidad imponen un límite de 8 a 10 centímetros i ménos, si se trata de un tabique o un piso de poco grueso. El guijarro o cascajo fino i redondo reúne pues las condiciones de economía, de resistencia i de buena trituracion; variando el esqueleto desde el coke i la escoria hasta el granito, se consiguen hormigones livianos para pisos o pesados para resistir el empuje de una bóveda, de las tierras o del agua.

La piedra hace difícil la combinacion a mano, aun preparando la mezcla aparte, como conviene verificarlo. M. Mahiels describe la disposicion de la cancha en algunas obras, de donde deduce que el producto medio, por dia i por peon, alcanza a $2\frac{1}{2}$ (i mejor) $2.^{m} 350$ en vez de 2,500 metros. Jeneralmente el hormigon se fabrica con *betoneras* o máquinas sencillas i baratas, haciendo la argamasa de una vez o formando primero la liga i revolviéndola despues con la piedra. Las hai de muchas clases que el autor analiza i compara, dando la preferencia, en las obras ordinarias, al cilindro vertical acompañado de un trapiche para triturar la mezcla; los dos juntos, valen, en Béljica 500 francos i el cilindro produce hasta 10 i 15 metros cúbicos por hora.

Son mui prácticas las recomendaciones que hace M. Mahiels acerca del transporte, descarga i del apisonamiento del hormigon, como de la subdivision o *aparejo* del macizo i de su continuidad; pero donde mas se conoce su espíritu de análisis, es en el estudio que hace de las combinaciones mas adecuadas para el hormigon i del papel que desempeña el cemento en esas combinaciones. Como ha de envolver los granos de arena i las piedras, un mismo volúmen de cemento puede corresponder a un hormigon *lleno* o *huevo*, siendo éste el mas resistente, pues contiene ménos arena. Esperiencias mas completas a este

respecto serian mui útiles, como tambien las necesarias para determinar los coeficientes de elasticidad, la razon entre los de resistencia a la compresion i a la traccion i, en jeneral, todos los datos que necesita el ingeniero para calcular una construccion de concreto. En el libro de M. Mahiels el lector encontrará un compendio de los esperimentos mas modernos, de los resultados admitidos i hasta algunas fórmulas empíricas. En un apéndice, el autor apunta mas de 60 combinaciones usadas en Europa i en América, especificando las obras correspondientes.

En el capítulo 7.º, el autor se ocupa de la organizacion de las faenas, tomando los mejores ejemplos i entre todos, la construccion de los fuertes belgas, cuyos datos son suyos. Los fuertes se reparten en 12 para Lieja, 9 para Namur, formando cintura a una altitud de 100 a 150 metros, contados desde el rio. El volúmen de los materiales invertidos representa mas de cuatro millones de toneladas, cuya mayor parte se ha sacado del rio, elevándolos por medio de cuatro planos inclinados i tres caminos aéreos (andariveles), inclinados éstos de 30 a 40%. Sin contar las dragas, los muelles, desvíos en los ferrocarriles del Estado, edificios i demas equipo, la empresa estableció mas de 100 kilómetros de línea, servidos con 55 locomotoras. En dos campañas se concluyeron los 1.100,000 metros cúbicos de hormigon que entran en la construccion. La magnitud de la empresa se desprende de estos pocos datos i tambien la importancia de una buena instalacion. M. Mahiels describe uno de los fuertes i, aplicando las reglas anteriormente espuestas, desarrolla el estudio preliminar de la instalacion de las faenas; indica las disposiciones adoptadas, justificándolas i mostrando las economías que de ellas han resultado; espone la marcha de los trabajos, apuntando hasta el número de operarios dedicados a cada manipulacion i concluye así:

«En fin, los coeficientes de rendimiento del obrero dan la prueba de que la ejecucion de los macizos de hormigon puede, con una organizacion conveniente, alcanzar un grado inesperado de baratura i que viene a ser sorprendente, cuando el terreno se presta al establecimiento de la cancha escalonada.»

Este capítulo es un modelo del estudio previo que requiere la instalacion de una faena i los ingenieros, encargados de diri-

jir una obra algo importante, de cualquiera naturaleza que sea, lo consultarán con provecho.

El hormigon necesita un molde cuyo costo no puede desprejiciarse en un presupuesto. En su capítulo 8.º, M. Mahiels establece las condiciones que ha de llenar este aparato, dando la ventaja a la madera sobre el fierro i sobre la mampostería; recorre las muchas i variadas aplicaciones que ha usado en los fuertes del Mosa, señalando la sencillez del maderámen i la manera de reservar los vacíos en las murallas, de formar relieves y de colocar las piedras, fierros i maderas que necesita la construcción; describe los moldes para bóvedas sencillas i compuestas, para túneles, alcantarillas, edificios, escaleras i cañerías. Por su propia esperiencia fija, como base de avaluacion, en 4 a 5 metros cuadrados la capacidad diaria de un operario, pues esa tarea no requiere carpinteros.

Ha reunido en un capítulo especial el exámen i manera de subsanar las dificultades que orijina la immersion, en agua corriente i mas aun en el mar, de una masa blanda, compuesta de elementos sueltos i de distintas densidades. Los datos son los mismos que se encuentran en los tratados clásicos.

Entre las infinitas aplicaciones del hormigon que el autor estampa, en los dos últimos capítulos de su libro, las que a nuestro juicio ofrecen mayor interes para Chile son, fuera de las fundaciones de toda clase: los muros de sostenimiento i de cierro, las sepulturas i nichos, las alcantarillas, los acueductos i pontones de poca luz, los túneles, los estanques i presas, las fortificaciones, los embaldosados i los pisos de edificios, las casas para obreros, las estaciones i demas edificios de un solo piso, principalmente en el sur. Los establecimientos industriales con motores de vapor pueden, con el cagaferro, componer un hormigon mui bueno i hasta ladrillos: bovedillas de 0.80 de luz, 0.08 de flecha i 0.06 de grueso en la clave, han resistido una carga de 2,000 kilos por metro cuadrado, i su precio en Béljica apenas alcanza el costo de un entablado.

Como lo hemos dicho, M. Mahiels ha escrito un libro que será de notable utilidad para todos los constructores i máxime para los de Chile, donde el hormigon encuentra unas condicio-

nes mas ventajosas aun que en muchas rejiones europeas; con él, ha contribuido a dilucidar ciertos caprichos del cemento i a desvanecer los temores que éste inspira a muchos injenieros, aumentando así el número de los partidarios de la *piedra contínua*.

L. COUSIN

Santiago, 5 de Abril de 1894.

