

Ciencias Naturales

MATERIALES DE CONSTRUCCION: EL CEMENTO Y EL HORMIGON

ANTONIO BARTHE ARIAS

RESUMEN

El cemento y el hormigón constituyen un núcleo de interés por ser uno de los materiales de construcción más utilizados en el mundo. El tema es amplio, pero intencionadamente hemos reducido esta exposición escueta a dos aspectos principales: a los componentes y a los procesos de fabricación. Encontramos una instructiva “línea de desarrollo” desde las materias primas hasta el producto acabado. Fases que en las cementeras tienen lugar con total automatización, de manera parecida a una cadena de montaje.

El hormigón puede ser considerado como una roca artificial expuesto a la intemperie y, por tanto, puede alterarse por la acción de diversos factores.

SUMMARY

The concrete constitutes a nucleus of interest because it is one of the building materials most used in the world. The theme is wide, but we have deliberately reduced this short exposition to two main aspects: the components and the manufacturing process. We find an instructive “developing line” from raw material till the finished product. These phases in the concrete factories are totally automatic like an assembly line work.

The concrete can be considered as an artificial rock exposed to the open air and it can be altered by the action of diverse factors.

1. EL CEMENTO: COMPOSICION Y FORMACION

El cemento común o cemento Portland¹ se fabrica mezclando dos tipos de rocas sedimentarias, *caliza* y *arcilla*, en unas proporciones previamente establecidas (aproximadamente un 80% de caliza y un 20 % de arcilla). Una vez analizadas, estas materias primas son molidas, mezcladas y homogeneizadas antes de efectuar la calcinación en unos inmensos hornos rotatorios.

Existen en la naturaleza unas rocas sedimentarias en la que se encuentran juntos estos dos componentes, *las margas*, que están compuestas por material calcáreo y arcilloso. Estas rocas en ocasiones son objeto de explotación, precisamente por contener unos porcentajes de calcita y arcilla parecidos a los exigidos para la fabricación del cemento. De ellas se obtiene el *cemento Portland natural*.

Por lo general, las fábricas de cemento cumplen con las infraestructuras propias de unas adecuadas vías de comunicación terrestre —carretera o ferrocarril— o naval. Conviene recordar que el desarrollo industrial ha estado íntimamente vinculado a la apertura de vías de comunicación y transporte. Además, suelen disponer de cintas mecanizadas que desde la cantera transportan caliza y arcilla, materia prima que suele encontrarse relativamente cerca de la instalación fabril. Todo ello reduce considerablemente los tiempos y los costes de transporte.

Precisamente una de las causas —entre otras— que justifica el uso privilegiado del cemento en todo el mundo es el hecho de obtenerse a partir de materias primas abundantes y económicas, de manera que puede considerarse como un material inagotable y sin otros competidores en cuanto al precio, por lo que su futuro en el mercado está totalmente asegurado.

Las materias primas (calizas y arcillas), una vez analizadas son dosificadas en las proporciones adecuadas, mezcladas y molidas hasta la homogeneización. Este proceso de molienda y mezclado pueden realizarse de dos maneras, una denominada por “vía seca” y otra por “vía húmeda”. En el proceso de “vía seca” una mezcla homogeneizada de material totalmente pulverizado y seco pasa al horno. Y en el método de “vía húmeda” se usan unos tanques que poseen brazos giratorios que al desplazarse efectúan la homogeneización y el mezclado. La pasta de estos tanques contiene agua (hasta un 50%) y debe ser secada antes de introducirla en el horno.

De estos dos métodos, el más moderno y más utilizado es el de “vía seca”, pues requiere un menor gasto energético, es un proceso menos contaminante y precisa un horno de menor longitud.

El proceso de calcinación tiene lugar en unos hornos cilíndricos rotatorios, con diámetros de hasta 4,5 metros, cuya longitud sobrepasa en todos los casos los 40 metros; tienen una inclinación del 2 al 5 por ciento y giran del orden de 2 a 3 revoluciones (vueltas) por minuto.

En el extremo inferior de estos hornos se produce el calor gracias a un quemador que se alimenta de carbón pulverizado, el cual es inyectado mediante un ventilador. Este carbón molido, en contacto con las altas temperaturas interiores del horno, entra inmediatamente en combustión provocando un auténtico remolino de fuego que se propaga a lo largo del gran cilindro produciendo la calcinación de la materia prima. Por el extremo situado a nivel más alto, se introduce ésta, mezcla de caliza y arcilla —que ahora se denomina *crudo seco*—y, a medida que va descendiendo —gracias a las

vueltas e inclinación del horno—, alcanza cada vez mayores temperaturas, llegando en el extremo de éste hasta los 1.400 y 1.500° C.

Para protegerse de estas altas temperaturas el horno está revestido de ladrillos refractarios y por el exterior es refrigerado con aire.

Debido a este tratamiento térmico se producen una serie de cambios físicoquímicos, como son la eliminación del agua y del anhídrido carbónico y la formación de un producto, *clinker*, que en realidad es el resultado de un proceso de sinterización en el cual se unen una masa de partículas pequeñas separadas, por la influencia del calor, para formar un cuerpo sólido y denso que se presenta en forma de nódulos de color gris oscuro. Es necesaria 1,6 toneladas de crudo para producir 1 tonelada de clinker.

El clinker está constituido por unos compuestos que presentan una estructura completamente diferente a la materia prima original de calizas y arcillas. Este fenómeno se produce como resultado del gran aporte de energía al que se le ha sometido en el proceso de calentamiento. Los distintos óxidos que se forman tras la pérdida de agua y de anhídrido carbónico, al estar sometidos a altas temperaturas reaccionan entre sí originando compuestos complejos que se encuentran en estado cristalino pero no en su totalidad ya que una pequeña parte, del 2 al 12%, se encuentran en fase amorfa. Esto es consecuencia del rápido enfriamiento que experimenta en clinker al salir del horno.

El clinker es almacenado y posteriormente triturado junto con una adición de yeso (del 2 al 3 %). Además se añade otro constituyente elegido, por lo general, entre estos tres: puzolanas, escorias de alto horno² o cenizas volantes. Dicha elección viene determinada por el tipo de cemento que se quiere conseguir.

Para mezclar el clinker con el yeso y uno de estos aditivos, hay unas instalaciones de dosificación, silos con compartimentos separados. Cada uno de estos vierte su carga bajo el control de un dosificador en peso, que será diferente para cada elemento.

El yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) actúa como retardador del fraguado al disminuir la solubilidad de uno de los componentes el aluminato tricálcico (3CaO , Al_2O_3). Efectivamente, el aluminato tricálcico tiene un gran poder de disolución por lo que tiende a reaccionar rápidamente con el agua, dando lugar a un endurecimiento inmediato que se denomina "fraguado rápido". Pero al existir ahora yeso en disolución ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), disminuye la solubilidad del aluminato y se evita el fraguado rápido. Esto permite la manipulación prolongada del cemento a pie de obra, ya que un fraguado rápido constituiría una seria dificultad a la hora de su empleo en las múltiples facetas de la construcción.

La importancia de añadir uno de los otros constituyentes (puzolanas, escorias de alto horno o cenizas volantes) es que, además de reducir el costo de fabricación, introduce en los cementos unas características muy interesantes para algunas aplicaciones. Así, el empleo de cementos que contengan puzolanas o cenizas volantes está indicado para cimentaciones, obras marítimas, tuberías y elementos de hormigón que estén en contacto con aguas puras o ligeramente ácidas. Las puzolanas son cenizas volcánicas de naturaleza silíceas y aluminosas, y las cenizas volantes son los residuos sólidos que acompañan a los gases de combustión de los quemadores de centrales térmicas alimentados por carbones pulverizados.

El uso de estos elementos en la fabricación del cemento debe estar condicionado al resultado de una serie de análisis, especialmente en el caso de las cenizas que por tratarse de un subproducto no se tiene garantías de su regularidad. Es fácil, pues, que

de una central térmica a otra, las cenizas modifiquen su composición, e incluso dentro de una misma central pueden producirse cambios notables. En las cenizas volantes un alto contenido en óxido de calcio (superior al 5%) pueden originar problemas de estabilidad de volumen debido a procesos expansivos.

Uno de los cementos más vendidos es el tipo II-C que contiene 66% de clinker, 6% de yeso y 28% de cenizas volantes.

Los cementos siderúrgicos o cementos de escorias no están indicados para el hormigonado en tiempos frío, pero responden muy bien para obras marítimas y obras en medios agresivos o en suelos yesíferos. Las escorias siderúrgicas que se añaden al clinker son escorias de altos hornos que queman cok (3). Estas escorias constituyen la ganga fundida, que en el crisol del alto horno de fundición, flota sobre el arrabio. A la salida del mismo se vitrifican y granulan al enfriarse rápidamente con duchas de agua o al aire. Al llegar a la fábrica de cemento las escorias se trituran junto con el clinker a fin de obtener la máxima finura de grano y homogeneidad de mezcla.

Los principales compuestos del cemento son:

Silicato tricálcico,	3CaO, Si ₂ .
Silicato bicálcico,	2CaO, SiO ₂ .
Aluminato tricálcico	3CaO, Al ₂ O ₃ .
Ferrito aluminato tricálcico.	4CaO, Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ .

Estos son los compuestos que confieren a los cementos sus propiedades técnicas características.

El tratamiento térmico aplicado en fábrica trae la aparición de estos compuestos complejos que están en equilibrio con las condiciones del medio de formación (altas temperaturas) y representan un aumento del contenido energético. Pero los procesos que tienen lugar en la naturaleza muestran, por lo general, la tendencia a adoptar la disposición de mínima energía. En las condiciones físicoquímicas que se dan en el seno del cemento o del hormigón, estos compuestos complejos evolucionan hacia sustancias más estables a las nuevas condiciones y la energía retenida se desprenderá en el proceso de hidratación posterior. Efectivamente, el cemento al hidratarse lo hace en forma exotérmica liberando calor.

Como la cantidad de calorías liberadas por kilogramo de cemento depende de la composición potencial del mismo, y, por otra parte, el calor de hidratación de sus componentes es aditivo, es conveniente conocer bien la composición a fin de tomar precauciones y elegir el cemento más adecuado en el hormigonado en tiempo frío y caluroso.

En presencia de agua, los silicatos y aluminatos se hidratan. En este proceso de hidratación se produce una disolución con reacción de los componentes con el agua, seguida de una difusión y precipitación de los compuestos hidratados, que son muy estables, de aquí la insolubilidad del cemento endurecido.

Una vez molido el cemento se expende bien en sacos de 50 Kg o, bien a granel por medio de camiones, vagones de ferrocarril o en barcos si se destina a la exportación. Como el cemento expuesto a la intemperie es fácilmente alterable, conviene a la hora de almacenarlo, bien en silos o recipientes si es a granel o en los mismos sacos cerrados, protegerlo especialmente de la humedad para que no sufra caídas en su resistencia y calidad.

En los últimos años la producción del cemento ha experimentado unos avances muy notables. Se han reducido costos, especialmente al controlar de manera automática tanto el consumo energético (ahorro energético) como el control de todo el proceso de fabricación. Mediante ordenadores y circuitos cerrados de televisión se pueden seguir las distintas fases de transformación, y por medio de modernos y rápidos sistemas de análisis se puede saber en pocos minutos la composición y calidad del clinker y del cemento obtenido.

Prácticamente, todo el cemento que se produce está destinado a la elaboración del hormigón, que en la actualidad bien podría ser el material más usado por el hombre después del agua.

2. EL HORMIGON

Desde un principio conviene diferenciar bien los términos *cemento* y *hormigón*, pues observamos que a menudo son objeto de equivocación. El hormigón resulta de una mezcla de materiales, uno de los cuales es el cemento. El hormigón está constituido por la mezcla de un material inerte, rocas que cumplen ciertas condiciones químicas y granulométricas (arena, grava o cascajo) y un material aglomerante formado por cemento y agua. Esta necesidad y capacidad de endurecerse con el agua hace que el cemento sea un aglomerante hidráulico, a diferencia de los aglomerantes aéreos, como la cal, que endurecen sólo si se exponen al aire y además se deshacen si permanecen en el agua.

Un tipo de aglomerante aéreo de gran transcendencia histórica en los procesos de construcción fue el llamado *mortero romano*. Efectivamente, los romanos con un enorme sentido práctico crearon como base de sus grandes obras de ingeniería y monumentales edificios públicos una especie de "cemento" de óptimos resultados. Tomando como base el quemado de la piedra caliza, se obtiene óxido de calcio o cal viva. Esta en contacto con el agua se transforma en hidróxido de calcio, el cual mezclado con materiales menudos y porosos —como las escorias y cenizas volcánicas— da como resultado el famoso *mortero* o *argamasa* que en contacto con el aire fragua y adquiere la resistencia y compacticidad propias de una roca. En las grandes construcciones abovedadas los romanos emplearon materiales ligeros al fin de evitar el exceso de peso, como las cenizas volcánicas que se encontraban en Puteoli (hoy Puzzuoli), son las llamadas puzolanas. Ya hemos visto como en la actualidad existe un tipo de cemento de puzolana.

2.1. Componentes

Cada uno de estos componentes (cemento, agua y áridos) desempeña un papel importante en la calidad del hormigón. Como el cemento ya lo hemos visto con anterioridad, diremos ahora algo sobre el agua y los áridos.

2.1.1. El agua.

El agua es otro de los componentes del hormigón y se emplea en el amasado del mismo. Al añadir agua se produce la *hidratación* de los componentes activos del cemento, que se transforma en una pasta que envuelve y aprisiona sólidamente a los demás componentes del hormigón. En este proceso de hidratación tiene lugar una liberación de calor. Además de la hidratación hay que distinguir otras dos fases, el *fraguado* y el *endurecimiento*. Durante el fraguado la pasta, inicialmente fluida, pierde su plasticidad, y adquiere una consistencia capaz de mantener la forma que se le ha dado. La fase siguiente es el endurecimiento, y consiste en el progresivo desarrollo de las resistencias mecánicas del cemento.

En este proceso de hidratación tiene lugar una liberación de calor, que procede de la acumulación de energía que este material experimentó en su formación.

Es importante que el agua no presente impurezas ni sustancias perjudiciales, pues de lo contrario pueden darse alteraciones en la hidratación del cemento y/o retrasos en su fraguado y endurecimiento. Concretamente el uso del agua del mar para el amasado del hormigón reduce su resistencia en un 15 por 100 aproximadamente, por ello, su empleo debe condicionarse no sólo a que sean admisibles las manchas y eflorescencias que habitualmente originan su uso, sino también a que el hormigón fabricado con ella cumpla las condiciones de resistencia exigidas.

Cuando se trata de hormigones que llevan estructura metálica, el uso del agua del mar debe ser desechado porque ejerce una acción corrosiva sobre el metal.

2.1.2. Los áridos

Los materiales granulares inertes pueden obtenerse del machaqueo de rocas o bien de canteras o graveras, y se denominan áridos. Según sea su tamaño superior o inferior a 5 mm, será árido grueso o árido fino o arena. La mezcla de arena y grava se llama zahorra o revoltón.

Aunque no intervienen en el fraguado ni en el endurecimiento del hormigón, la naturaleza y características de estos materiales influyen en la calidad del mismo. No hay que olvidar que aproximadamente el 80 por 100 del volumen de hormigón es ocupado por los áridos, siendo el resto la pasta de cemento, que reaccionando con el agua utilizada para el amasado, rellena los huecos existentes entre ellos formando una capa que mantiene ligados a los gránulos.

Los áridos no deben descomponerse por los agentes externos a que estarán sometidos, por lo tanto ha de evitarse el uso de áridos que procedan de rocas poco resistentes, friables, porosas, deleznales o que contengan compuestos fácilmente oxidables, como son los compuestos de hierro y los sulfuros oxidables.

Características de los áridos como la dureza y adherencia con la pasta de cemento influyen en la resistencia del hormigón. Si se atiende a la dureza pueden tener preferencia los áridos silíceos (gravas y arenas de río, cantera o playa) frente a los áridos calcáreos (calizas y dolomías). Antes de decidirse por el uso de estos últimos es necesario realizar una serie de análisis y ensayos.

En cuanto a la adherencia pasta-árido podemos hacer dos indicaciones. Una es que la presencia de arcillas repercute negativamente en la resistencia del hormigón debido a la falta de adherencia que presentan con la pasta. Por eso las arcillas deben ser previamente eliminadas por lavado. Otra es que con ciertos áridos como las calizas

duros se mejora la adherencia con la pasta de cemento, lográndose de esta manera hormigones de mayor resistencia que los obtenidos con áridos más duros pero de menor adherencia. Este aumento de adherencia es consecuencia de un fenómeno *epitáxico*, en el cual se da una cristalización del cemento, prolongación de la red cristalina de la cal-cita.

Por último, hay que evitar que los áridos tengan sustancias perjudiciales que pue-dan afectar al fraguado y/o al endurecimiento del hormigón. Entre éstas podemos citar las impurezas orgánicas, el carbón, el exceso de finos y las sales que acompañan a las arenas procedentes de las playas. En este caso se trata de sales evaporíticas, como los cloruros, que al ser higroscópicos pueden formar manchas o eflorescencias. Además, la retención de agua por parte de estas sales puede afectar a la estructura metálica oxi-dándola.

A su vez, la presencia en los áridos de sulfuros oxidables (pirita, marcasita o pirrotina), aun en pequeña cantidad, resultan muy peligrosos para el hormigón, pues por oxidación y posterior hidratación se transforman en ácido sulfúrico. El ácido sul-fúrico es un ácido fuerte, peligroso en cualquier concentración. Al reaccionar con el hidróxido cálcico se forma sulfato de calcio dihidratado que por ser expansivo puede destruir el hormigón.

2.2. Amasado y transporte del hormigón

Por lo general, se ha suprimido la fabricación del hormigón en el tajo y lo que se está haciendo es fabricarlo en centrales fijas y acarrearlo en hormigoneras sobre camión a pie de obra. Con este proceder, además de asegurar las especificaciones de su producción, se obtiene una mayor homogeneidad y uniformidad, lo cual es puesto de manifiesto en los posteriores controles de calidad (resistencia y durabilidad).

Entre las instalaciones y equipos del sistema de fabricación en centrales mencio-namos:

- a) Almacenamiento de materias primas: el cemento y los aditivos en silos, los áridos se apilan a pie de central en compartimentos techados y el agua en depósitos protegidos de la helada.
- b) Instalaciones de dosificación: el cemento, áridos y aditivos se dosifican en peso según básculas (colectoras móviles o de cinta) conectadas a un tándem de silos.
- c) Equipos de amasado y transporte: en el amasado y el transporte se utilizarán procedimientos adecuados para asegurar la entrega en las condiciones estipu-ladas.

El hormigón se dosifica en la central e inmediatamente con él se cargan las hormigoneras sobre camión, donde se mezclan sus componentes en el recorri-do hacia la obra. Estos camiones hormigoneras presentan un receptáculo piri-forme (trompo) de eje oblicuo en cuyo interior hay una serie de chapas heli-coidales. Se cargan por detrás mediante una tolva y para obtener un amasado satisfactorio el tambor ha de girar a una velocidad de unas 12 vueltas por minuto (en el sentido del amasado), sin que el llenado sobrepase el 65% del volumen para que el contenido no rebose durante el trayecto. Actualmente, para el giro del tambor se emplea exclusivamente el motor del camión.

El vaciado se realiza por inversión del giro del tambor y a través de la boca posterior. Con el auxilio de una pala basculante, que sirve como resbaladero, se efectúa la descarga de la masa acarreada que es dirigida por medio de toboganes, canaletas o tubos hasta el molde o lugar en que se haya de colocar. Si el acceso al lugar de colocación es difícil se resuelve el problema por bombeo, con lo que además de conseguir un flujo continuo se aumenta el ritmo de trabajo. Cualquiera que sea la manera de colocar el hormigón en la obra hay que evitar su caída libre desde una altura superior a dos metros, pues el árido grueso caería más rápido que el resto de los componentes y, como consecuencia de esta selección por tamaños, se rompería la homogeneidad de la mezcla.

En el trayecto de vuelta se agrega agua a la hormigonera al objeto de limpiar la pala de descarga y lavar el tambor.

- d) Servicio de control de calidad. Además del control de calidad y de dosificación de los componentes del hormigón (cemento, agua de amasado, áridos y aditivos) es necesario hacer un control de calidad del mismo referente, especialmente, a su consistencia y resistencia.

2.3. Acción de la intemperie

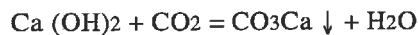
El hormigón es una roca artificial y si es compacto y de calidad presenta, por lo general, una buena resistencia y durabilidad en las condiciones de ambiente y de desgaste. Pero a veces el hormigón, por encontrarse sometido a unas condiciones ambientales y climáticas extremas, disminuye su durabilidad, dependiendo ésta de la calidad de aquel y de las medidas que se hayan tomado para protegerlo.

El hormigón endurecido puede sufrir procesos de alteración física debido a tensiones de origen interno y externo.

- Debido al calentamiento y enfriamiento alternativos durante el día y la noche o bien durante el verano y el invierno, esta roca artificial sufre dilataciones y contracciones que pueden favorecer la formación de fisuras o ensanchan las existentes.
- Un alto calor de hidratación del cemento, como consecuencia de un contenido excesivo del mismo, puede ocasionar tensiones térmicas diferenciales que posibilitan la fisuración.
- Las alternancias de heladas y deshielos pueden alterar físicamente al hormigón. En el caso de que el agua ocupe parcialmente los poros, habrá suficiente espacio para que la expansión que se produce al congelarse el agua sea asumida sin provocar tensiones capaces de disgregarlo. Pero si el grado de saturación es elevado, el agua helada produce presiones tan elevadas que son capaces de disgregar las capas más superficiales de la primitiva masa. Como se deduce más que la helada en sí, lo peligroso son los ciclos hielo-deshielo, en un hormigón con un grado de humedad próximo a la saturación.
- La corrosión de las barras metálicas provoca un fenómeno expansivo capaz de generar fisuras en la masa del hormigón. Por ello se hace necesario proteger su estructura metálica de aquellos elementos capaces de oxidarla.
- En un principio (años 40), se pensó que la naturaleza mineralógica de los áridos no tenía ninguna influencia en el comportamiento del hormigón endurecido. Pero, posteriormente, se comprobó que ciertos desperfectos son debidos a

la interacción entre los áridos y los álcalis del cemento: “reacción álcali-árido”. Determinados áridos de naturaleza silíceas reaccionan con los álcalis del cemento dando lugar a la formación de geles de sílice que por absorción de agua aumentan de volumen provocando presiones disruptivas.

- El agua de lluvia en las zonas urbanas e industriales suele tener en disolución dióxido carbónico y, además, dióxido de azufre procedente de los gases de combustión. En ambos casos se trata de aguas ácidas y con gran poder de disolución, especialmente sobre el hidróxido cálcico procedente de la hidratación del cemento, dando lugar a sales solubles que se eliminan produciendo quemaduras en la masa del hormigón. A veces, en superficies atacadas por aguas que contienen dióxido de carbono aparecen diminutas estalactitas blancas de calcita. Esta precipitación de carbonato cálcico tiene lugar al reaccionar el dióxido de carbono con la disolución de hidróxido cálcico (agua de cal).



Este fenómeno es observable bajo las grandes arcadas de los puentes y, en general, en todas aquellas estructuras expuestas a la intemperie donde las aguas de lluvia actúan de forma persistente.

- Los gases sulfurosos proceden de la combustión de sustancias que como la hulla contienen azufre en cierta proporción. Gran parte del SO₂ (dióxido de azufre) se oxida en la atmósfera hasta SO₃ (trioxido), que al reaccionar con el agua de lluvia, hace que se formen gotitas de ácido sulfúrico (H₂SO₄). Ya dijimos anteriormente que éste es un ácido fuerte que ataca al hidróxido cálcico para dar lugar a la formación del sulfato cálcico hidratado que por ser expansivo puede destruir al hormigón. En ambientes contaminados con SO₂, como son las zonas industriales y las ciudades, especialmente en invierno, debido a la combustión de los carburantes usados en calefacción, se puede apreciar una tasa creciente de este tipo de corrosión. Este fenómeno se ve agravado por situaciones de carácter anticiclónico en las que la inmovilidad del aire provoca una concentración persistente de estos contaminantes.

NOTAS

- (1) En el siglo pasado se dio el nombre de cemento Portland debido a que puesto en obra, después del fraguado, adquiere un aspecto muy parecido a las calizas de la isla Portland, que es la principal localidad inglesa donde se extraen.
- (2) Aproximadamente el 42% de los residuos sólidos que se obtienen de un alto horno son escorias. Este subproducto siderúrgico, que viene a suponer 300 kg/t de arrabio, encuentra aplicación en diversos sectores: en la industria del cemento, en la construcción de bases de carreteras, en la fabricación de aislantes térmicos y acústicos y, en los últimos años, mezclado con materiales tradicionales, se ha utilizado como sustrato para

cultivos agrícolas. En efecto, en base a su alta porosidad, elevada capacidad de aireación y buena drenabilidad, las escorias de alto horno están encontrando aplicación en la mejora de sustratos en cultivos ornamentales y hortícolas.

- (3) En Aboño, además de la Cementera hay otras industrias como la Central Térmica y la propia factoría de Ensidesa, estableciéndose entre ellas unas relaciones simbióticas, y, por otra parte, este pequeño núcleo industrial se beneficia de la cercanía de El Musel. De la Central Térmica se traen las cenizas volantes y de la Siderúrgica las escorias granuladas.

BIBLIOGRAFIA

ADAM, M. (1973): *Guide pratique pour l'emploi des ciments*. París: Eyrolles Edit.

FERNANDEZ CANOVAS, M. (1989): *Hormigón*. Madrid.

KEIL, F. (1973). *Cemento, Fabricación, Propiedades y Aplicaciones*. Barcelona: Ed. Téc. Asociados.

MÄNGEL, S. y SEELING, R. (1976). *Preparación y empleo del hormigón*. Barcelona: Gustavo Gili.

MOPU (1988): *Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado (EH-88)*. Madrid.

VARIOS (1976): *Los áridos en la construcción. Extracción, preparación y utilización*. Barcelona: ATASA.