

EL CEMENTO PUZOLANICO COMO GENERADOR DE RESISTENCIAS MECANICAS A CORTO Y LARGO PLAZO. CONSECUENCIAS

Por MANUEL DE LUXAN BAQUERO
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Al enjuiciar el comportamiento de los cementos puzolánicos hay que destacar que la presencia de la puzolana como adición al Portland tiene los efectos dispares y en los que el tiempo es el factor preponderante.

Al principio actúa como un inerte no nocivo, del cual ha sido posible añadir un alto porcentaje, que puede llegar y a veces sobrepasar el 10 por 100.

Más adelante se manifiesta como un elemento activo, cuyos óxidos ácidos, se combinan, para formar nuevos cuerpos estables, con la cal liberada por los silicatos en la hidratación del Portland.

Por eso, al estudiar las resistencias de los cementos puzolánicos estimamos dos etapas: una, a corto, y otra, a largo plazo.

Resistencias mecánicas a corto plazo.

Está muy extendida la teoría de que el cemento puzolánico es un cemento lento, y, en términos generales, se afirma que tarda más en alcanzar las mismas resistencias que el Portland, por lo que, en los hormigones ejecutados con aquél, han de mantenerse más tiempo los encostrados.

Semejante criterio se desvanece a la simple observación del Pliego de Recepción de Conglomerantes Hidráulicos, vigente desde el 6 de mayo de 1964, de la que se deduce que no se pueden asignar cualidades genéricas diferenciadas de resistencias mecánicas a los distintos tipos de conglomerantes, ya que dentro de cada uno de ellos existen varias designaciones que corresponden, precisamente, a la mínima carga de rotura a la compresión o flexotracción, exigible a los veintiocho días.

Sin referirnos a otros tipos de cemento anotamos que, en los Portland se distinguen los

P-250, P-350 y P-450, y en los puzolánicos los PUZ-250 y PUZ-350, lo que significa que, salvo cuando se emplee el P-450, siempre hay un cemento puzolánico al que se le pueden reclamar las mismas cargas de rotura que al Portland. Y esto no sólo a los veintiocho días, sino también a edades más tempranas de las que el Pliego fija las correspondientes a los siete y tres días.

Debemos, pues, desechar por carecer de fundamento, la supuesta constante de lentitud aplicada al endurecimiento de los conglomerantes con adición de puzolana.

Este concepto puede tener su origen en el sistema de fabricación del cemento puzolánico. Por definición del Pliego Oficial, recibe la denominación de cemento puzolánico —PUZ— el obtenido por la mezcla de clinker de cemento Portland, puzolana y yeso, elementos que designaremos C, P e Y.

El fenómeno puzolánico, de acuerdo con el proceso de hidratación y endurecimiento, que estudiamos más adelante en el apartado de las resistencias mecánicas a largo plazo, no tiene lugar con intensidad en los momentos iniciales, uno a tres días. En éstos se produce el endurecimiento de la fracción de C, pero aún no ha empezado a actuar decididamente P. Si el cemento que manejamos tiene, por ejemplo, la composición:

$$0,69 C + 0,28 P + 0,03 Y = \text{PUZ}; \quad [a]$$

y hemos ejecutado un hormigón de dosificación de 300 Kg. de conglomerante, PUZ; en los primeros días se comporta como de dosificación de:

$$300 \times 0,69 C = 207 \text{ Kg. de } C; \quad [b]$$

lo que, prescindiendo de los demás factores que intervienen en la fecha del desencofrado, explicaría la opinión general que rebatimos.

Pero para alcanzar un PUZ que encaje en el propio Pliego y que pueda merecer designación

de PUZ-250, hay que partir de un C de más altas resistencias. Normalmente de un C_X P-350, al que a los veintiocho y siete días se le exigen, respectivamente, cargas de rotura de 350 y 250 kilogramos/cm.², que son:

$$\frac{350 - 250}{250} = 0,40; \quad \frac{250 - 167}{167} = 0,50;$$

un 40 y un 50 por 100 más elevadas que las del P-250. A los tres días la relación de valores sería aún mayor.

Si introducimos este nuevo factor de corrección en la expresión [b] nos queda:

$$300 \times 0,69 \times 1,50 [C_{X} \text{ P-350}] = 310 \text{ Kg. de un cemento P-250.}$$

Al principio del empleo de un PUZ-250 —cuya fórmula es la desarrollada en [a]— su endurecimiento es el de un P-250 en virtud de que C tiene designación P-350. La acción puzolánica de P está en estado embrionario y será más adelante cuando produzca su efecto beneficioso.

Cuando acabamos de razonar para un PUZ-250, lo podemos hacer extensivo a un PUZ-350, para el que habría que partir de un C_X P-450. Es por esto por lo que no se ha incluido en el Pliego un PUZ-450, porque habría que partir de un C_X P > 500 que tampoco está incorporado.

Luego, independientemente de las diferencias que pueda haber en las distintas marcas de cemento puzolánico, como también las hay entre las de cemento Portland, llegaríamos a la conclusión de que el endurecimiento a corto plazo tiene valores semejantes para los P-250 y PUZ-250, así como para los P-350 y PUZ-350.

Resistencias mecánicas a largo plazo.

Es muy interesante el examen de las resistencias a largo plazo de los cementos puzolánicos.

Hemos visto en la fórmula [a] que para que el PUZ definido por ella pueda tener la designación 250, la fracción de cemento Portland ha de pertenecer a la P-350.

En la masa del cemento puzolánico tenemos, pues, un elemento C que, considerado aislado, fué suficiente para proporcionar a los siete y veintiocho días unas resistencias al conjunto que permitieron estimarlo como 250. Es indudable

que si la puzolana no ejerciera acción ninguna y hubiera sido únicamente añadida como un inerte no nocivo para rebajar las cargas de rotura del Portland y eventualmente para darle una mayor plasticidad y evitar retracciones posteriores, el conglomerante puzolánico así constituido seguiría siendo comparable con un P-250; sus resistencias a seis meses, un año y más, tendrían valores semejantes en ambos.

Pero la puzolana no es inerte. Por el contrario, tiene una acción suficientemente conocida. A medida que los silicatos del C al hidratarse liberan hidróxido cálcico, su parte activa se combina con éste y reproduce la fase de endurecimiento del Portland en sentido inverso. Es decir, que así como al humedecerse las partículas del Portland, los silicatos cálcicos pierden parte de la cal para convertirse aproximadamente en monocálcicos con reacción exotérmica, la puzolana, en cambio, llega a formar estos mismos últimos silicatos, pero en vez de ser por desdoblamiento lo es por combinación.

En el esquema que se acompaña bajo el título de: "Procesos de hidratación y endurecimiento", se ha tratado de dar una representación gráfica a este fenómeno, comparando los estados finales del conglomerante hidratado endurecido en un cemento tipo Portland y en otro puzolánico. Puede observarse que ha aumentado la fracción resistente en este último.

El conglomerante definido por la fórmula [a] tendrá, por tanto, a largo plazo, unas resistencias que no serán inferiores a las del C que le sirve de base, sino que, en vez de ello, si se compara con un cemento Portland con fórmula:

$$0,92 C + 0,08 Y = P,$$

llegaría a alcanzar valores mayores que este último, o lo que es lo mismo, que el cemento le merecería la designación superior de PUZ-350. Repetimos que esto es así como consecuencia de que la necesidad de compensar la escasa intervención que la puzolana tiene en las resistencias que a corto plazo se exigen al cemento puzolánico, nos obliga a emplear como base un Portland susceptible de mayores cargas.

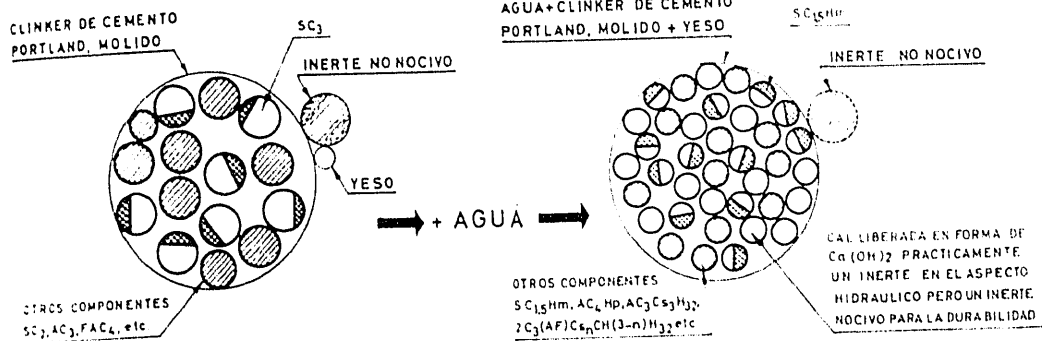
Consecuencias.

1.ª Los Pliegos de Recepción de Conglomerantes no pueden profundizar más de la que lo hacen en las características de los cementos que

PROCESOS DE HIDRATACION Y ENDURECIMIENTO EN EL CEMENTO PORTLAND

CEMENTO ANHIDRO

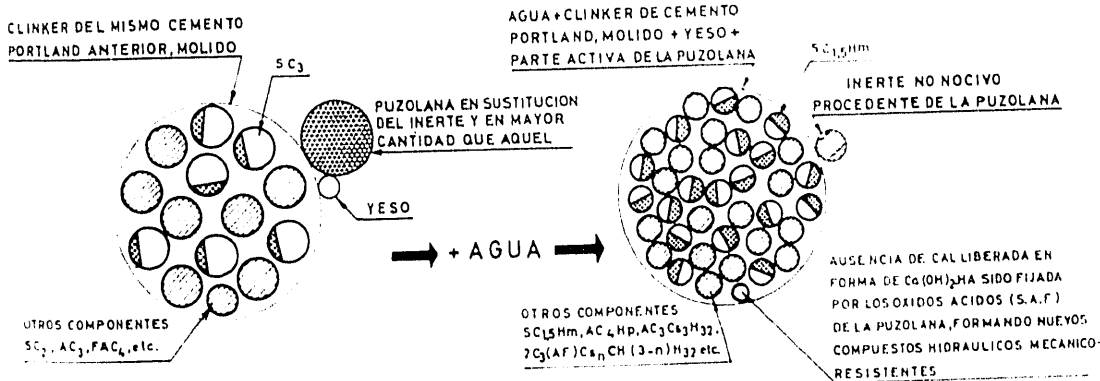
CEMENTO HIDRATADO ENDURECIDO



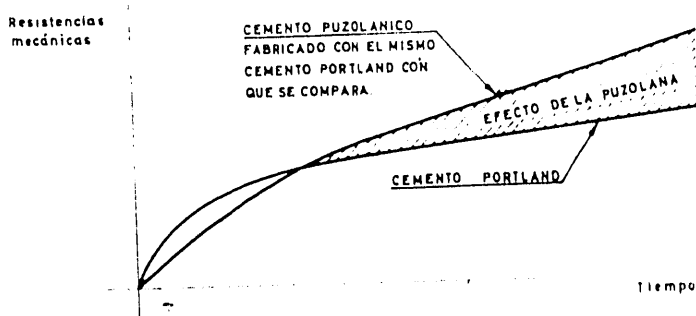
EN EL CEMENTO PUZOLANICO

CEMENTO ANHIDRO

CEMENTO HIDRATADO ENDURECIDO



ESQUEMA DE DESARROLLO DE RESISTENCIAS MECANICAS EN EL TIEMPO



recogen en sus apartados. Han de ser terminantes y claros en las condiciones demandadas, ya que su aplicación puede tener consecuencias no sólo de orden técnico, sino jurídico-económico.

Por eso, la clasificación que hace el Pliego español de los cementos puzolánicos, es correcta para sus fines.

Pero el usuario de este tipo de cemento debe saber que cuando emplea un PUZ-250 está usando un cemento de propiedades cambiantes, que inicialmente tiene como correlativo en el aspecto de resistencia bajo carga a un P-250, pero que al cabo de un plazo largo, quizá de un año, con quien ha de compararse en este mismo aspecto es con un P-350.

Con el concepto de designación del Pliego, los cementos puzolánicos no permanecen estacionarios, y cuando se utiliza un PUZ-250, al cabo del tiempo se comportará como un PUZ-350, el

cual a su vez lo hará como un PUZ-450 que no podía ser incluido.

El Pliego español encierra, pues, implícitamente, un conglomerante de designación a largo plazo PUZ-450.

2.ª Las modernas plantas de producción de clinker de Portland encuentran dificultades para conseguir que éste pueda emplearse, sin aditivos, en la fabricación de cemento P-250, y lo normal es que merezca la denominación de P-350.

Parece aconsejable que entre las adiciones posibles se consideren en primer lugar las puzolánicas, porque además llevan latente la recuperación de la alta calidad del Portland empleado como base.

Como consecuencia de cuanto acabamos de exponer no es demasiado aventurado afirmar que, en un futuro, la mayor parte de los cementos de designación 250 que se consuman en España, encuadrarán dentro del tipo puzolánico.