

Innovaciones para el tratamiento de agregados contaminados con arcilla

Ing. Carlos Uriel de la Rosa Serrano*
 Coordinador de Ingeniería, en Desarrollo Tecnológico y Materiales, de ICA Ingeniería.

Por medio de estas líneas deseo mencionar un agradecimiento especial al Dr. Carlos Fonseca, a la Dra. Laura Romero, al Dr. Xavier Pérez y a la Ing. Irma L. Rodríguez por todo el trabajo realizado en equipo para el estudio mencionado.

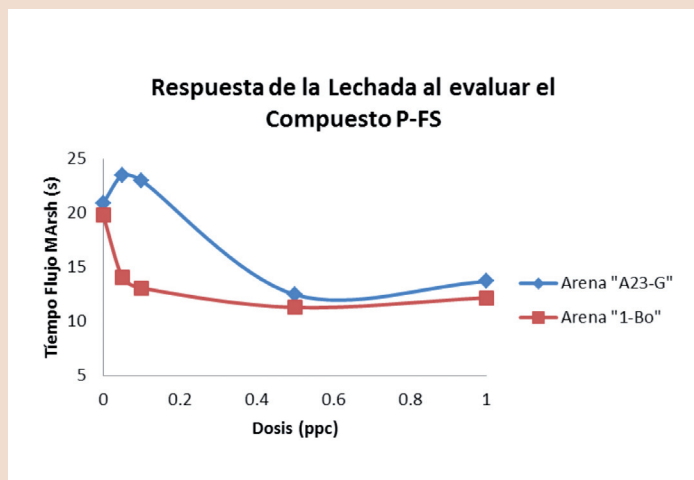
El concreto como material de construcción ha tomado un sitio privilegiado dentro de las alternativas que se utilizan en todo el mundo para brindarle al ser humano algunas de las soluciones más económicas y viables para las obras que necesita en la actualidad. Sin embargo, en muchas ocasiones, las materias primas disponibles en el sitio de construcción contienen contaminantes que demeritan las características de este noble material. Este es el caso de las arcillas, cuyos efectos en el concreto han sido estudiados de manera profunda [1] y es bien sabido que entre los problemas más graves que provocan se encuentra el aumento en el consumo de agua necesaria para obtener una trabajabilidad dada, con la consecuente disminución de la resistencia a compresión (así como tensión y flexión) y el aumento de los cambios volumétricos (entre ellos la contracción por secado) [2]. Debido a esto la calidad y durabilidad del concreto se compromete de manera significativa.

Si a lo anterior se suma la escasas cada vez mayor de agregados para concreto que cumplan al cien por ciento con las especificaciones establecidas para los proyectos, el encarecimiento de los fletes y el costo de la obra, es clara la necesidad de desarrollar alternativas para poder utilizar arena y grava que, aun teniendo ciertos componentes no adecuados para el concreto, se puedan aprovechar al ser tratados con algún compuesto (o aditivo) que ayude a minimizar los efectos perjudiciales de esos compuestos.

Los agregados para concreto en México tienen algunas peculiaridades, sobre todo en la zona central del país donde se presenta la mayor demanda por la concentración



Figura 1



Tiempo de Flujo Marsh de las lechadas modificadas para dos de los cinco bancos de agregados estudiados.

de los principales núcleos poblacionales. Nuestro país está dividido por un eje volcánico que lo atraviesa en dirección este-oeste, y es en esta región donde se localiza la mayor cantidad de bancos de agregados para producir concreto. Debido a su origen (volcánico), los materiales que se pueden encontrar son principalmente andesitas y basaltos, además de otros agregados ligeros de naturaleza ígnea extrusiva, así como lutitas, pizarras y otras rocas sedimentarias que se encuentran intercaladas con limos y arcillas, además de calizas de buena calidad en zonas bien identificadas. Desde el punto de vista de la factibilidad para su utilización, los agregados para concreto deben tener dos características principales: a) cumplir con las especificaciones respectivas y b) ser económicamente atractivos.

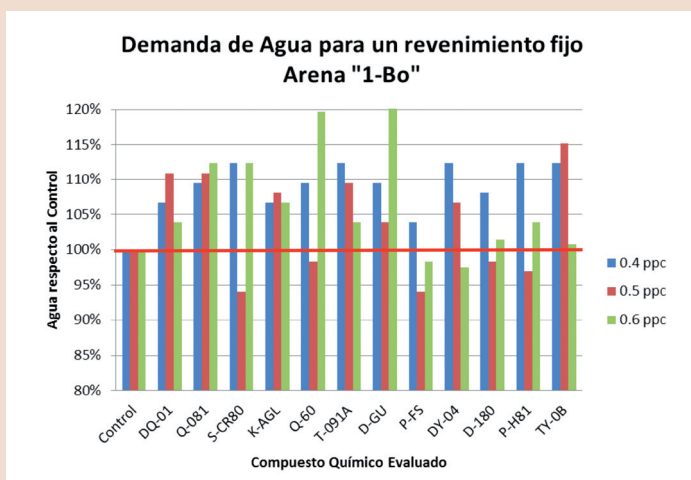
En cuanto a las especificaciones, están directamente asociadas a la cantidad de finos permitidos, particularmente en la arena, ya que para la zona metropolitana de la Ciudad de México el reglamento de construcción local indica que la cantidad de partículas menores que la malla No. 200 puede ser de hasta 15% cuando los finos que pasan la malla No. 40 tienen un límite líquido máximo del 2 ó 3% [3], dependiendo del tipo de concreto a fabricar con ese agregado. Este límite es notablemente distinto al indicado, por ejemplo, en la norma ASTM C-33, que puede ser de hasta 7%, siempre y cuando esos finos sean producto de trituración y no contengan arcilla [4]. Es bien sabido en la industria de la construcción de la ciudad de México, que los bancos de materiales que están libres de arcilla son escasos y cada día se incrementan los costos de transporte de las arenas de buena calidad que se encuentran en sitios alejados de la ciudad.

Por lo anterior, se vuelve de suma importancia contar con alternativas que permitan el empleo de arenas contaminadas con arcilla, a costos razonables y que no tengan implicaciones negativas en el comportamiento del concreto, tanto en estado fresco como endurecido. Cabe señalar que este es un tema que se repite en distintas ciudades del país, haciéndolo un problema no solamente exclusivo de la capital.

Por otro lado, algunos compuestos químicos recientemente desarrollados por proveedores reconocidos para poder usar los agregados con arcilla, se han enfocado en el nicho de los concretos de alta resistencia, por lo que existe la necesidad de encontrar un compuesto que pueda utilizarse en concretos convencionales, los cuales representan entre el 60 y el 70% de los concretos producidos en México [5].



Figura 2



Demanda de agua en pruebas de mortero para uno de los cinco bancos de agregados estudiados.

Si se llegaran a tener nuevos productos para un tratamiento efectivo de los agregados contaminados, el siguiente punto que se deberá atender es el aspecto normativo, pues de nada serviría utilizar agregados que no cumplan con las normas actuales. También sería urgente contar con métodos de prueba estandarizados que ayuden a demostrar de una forma rápida y confiable el comportamiento de los agregados tratados, además de que las especificaciones actuales deberán discutirse para incluir un apartado especial para este tema.

El primer punto a discutir es el relativo al límite líquido establecido en el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDDF), cuyos valores (2-3%) corresponden a un contenido mínimo de arcilla que le brinde cierta plasticidad al agregado, y que a juicio del autor, se debería aumentar para tener un rango de valores que incluya a aquellos agregados que se pretenden utilizar y que se encuentran contaminados. Obviamente, y a la par de esto, se deberán tener los cuidados necesarios para garantizar que los agregados tratados con los compuestos y/o tratamientos respectivos generen concreto con la calidad y comportamiento esperado dentro de los parámetros de calidad también especificados.

Del mismo modo, deberán considerarse los métodos para medir la cantidad de materiales menores que la malla No. 200 que pudieran considerarse arcilla contaminante. Si bien algunas pruebas tradicionales como la "pérdida por lavado", el equivalente de arena o el límite líquido aportan cierta idea de lo que el agregado fino pudiera contener, en función de la importancia y el volumen de materiales que se explotarán en determinado banco, se puede volver necesario realizar pruebas complementarias, tales como:

- Límite plástico e índice de plasticidad.
- Azul de metileno de materiales pétreos usando papel filtro [6].
- Determinación del azul de metileno (prueba rápida con colorímetro) [7].

Como información adicional, otras pruebas de azul de metileno se describen también en los métodos AASHTO T 330-07, ISSA TB-145 o en la norma EN 933-9.

¿POR QUÉ LAS ARCILLAS PRESENTAN CAMBIOS DE VOLUMEN?

Es bien sabido por todos los ingenieros dedicados a trabajar con materiales pétreos empleados en la construcción de terraplenes, pavimentos asfálticos y para la fabricación de concreto hidráulico que la arcilla "absorbe una gran cantidad de agua", pero para entender este fenómeno debemos imaginar lo que sucede a nivel atómico y molecular.

Las partículas de arcilla presentan cargas negativas residuales superficiales, y una vez que el agua ingresa al espacio disponible entre las moléculas de arcilla, sus cargas bipolares generan fuerzas de atracción molecular que mantienen al agua y a la arcilla formando bicapas. Como las partículas de arcilla se acomodan en estructuras multicapa, cuando se combinan con el agua suceden los cambios de volumen, debido principalmente a la presencia de cationes libres y a la distancia entre capas. No obstante, es importante mencionar que, dependiendo del mineral arcilloso del que se trate, el cambio de volumen puede presentarse en mayor o menor grado [8]. Si la distancia entre capas es pequeña, las fuerzas de atracción serán muy fuertes y los cambios volumétricos serán pequeños (o no

ocurren). Por el contrario, si la distancia es grande, las fuerzas de atracción son más débiles y la absorción de agua ocurre con mayor facilidad, incrementando con esto el cambio de volumen que tanto daño genera en estructuras en las que deseamos estabilidad.

Resultados de estudios que se realizan por investigadores del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey**, tratan de identificar algún compuesto químico que ayude a minimizar los efectos que las arcillas provocan en el concreto cuando se emplean agregados que contienen este tipo de minerales. Para lograr esto, se propuso un protocolo de investigación en el que las siguientes actividades han sido realizadas con el fin de verificar el comportamiento de los compuestos evaluados:

- a) Cinco bancos de agregados de distintas partes del país fueron seleccionados, muestreados y caracterizados.
- b) Se ensayaron lechadas "modificadas", adicionando distintas dosis de los compuestos químicos seleccionados, y en las que una porción de arena cribada por la malla No. 40 también se incluyó en la lechada. A la mezcla resultante se le determinó el tiempo de flujo en cono Marsh, teniendo especial cuidado de que al terminar el mezclado no quedaran grumos que obstruyeran el flujo a través del orificio inferior del cono.
- c) Se realizaron pruebas de "mini-revenimiento" [9] en mortero para evaluar el efecto que los compuestos químicos seleccionados tienen en la demanda de agua, para obtener una misma trabajabilidad.
- d) Pruebas en concreto en las que se pretende determinar el efecto de los compuestos químicos mencionados en distintas propiedades del concreto, tanto en estado fresco como endurecido, para evaluar los beneficios obtenidos, haciendo especial énfasis en la cantidad total de agua requerida para una trabajabilidad constante, los tiempos de fraguado, el desarrollo de resistencia a compresión y la evolución de la contracción por secado.

Algunos de los resultados obtenidos se muestran en las figuras 1 y 2, donde se aprecian los efectos que los distintos compuestos evaluados (entre ellos aminas cuaternarias, cloruros de amonio, compuestos metilsulfato y melaminas, entre los más destacados) le confieren a las lechadas y morteros. En particular, de la figura 1 se desprenden las dosis óptimas en las que los compuestos fueron evaluados en mortero, mientras que los datos de la figura 2 indican que los mejores compuestos para disminuir la cantidad de agua requerida en el mortero para alcanzar el revenimiento objetivo fueron el S-CR80 y el P-FS, ambos dosificados al 0.5 por ciento por peso de cemento (y para el agregado indicado en la misma figura).

Cabe señalar que resta complementar esta información con las pruebas de concreto fresco y endurecido para llegar a conclusiones definitivas sobre el compuesto más adecuado, además de que un estudio detallado de costo -beneficio para determinar la factibilidad de uso de dichos compuestos. Sin embargo, lo importante de estos datos radica en el nuevo enfoque presentado para generar información preliminar que ayude, tanto a seleccionar productos con potenciales beneficios, así como minimizar el número de pruebas que se realizarán en concreto, con base en los resultados obtenidos en lechada y mortero, que son pruebas más sencillas de realizar, más rápidas y con menor cantidad de materias primas. **C**

REFERENCIAS:

1. [A. Neville, "Properties of concrete", 4th Edition, IM-CYC, 1995, pp. 94-95.
2. R. Uribe, "Manual de identificación práctica de minerales y rocas para su uso como agregados para concreto", Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2004, México, pp. 11-16, 34-35.
3. Gobierno del Distrito Federal, "Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto", Tomo I, No. 103 Bis, 2004, pp. 187-188.
4. ASTM C 33-07, "Standard specification for concrete aggregates", Committee C09, Vol. 04.02, p. 2.
5. M. Díaz, "Los prefabricados avanzan a pasos agigantados en México", Colegio de ingenieros civiles de Mexicali, Obrasweb, Publicación 552, 2012, p. 1.
6. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, "Azul de Metileno de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas", Instituto Mexicano del Transporte, Método M-MMP-4-04-014/09, 2009.
7. GRACE Custom Aggregate Solutions "Grace Rapid Clay Test".
8. A. Nikolaidis, E. Manthos, M. Sarafidou, "Sand equivalent and methylene blue value of aggregates for highway engineering", *Foundations of civil and environmental engineering*, Thessaloniki, Greece, pp. 112-114, 2007.
9. N. Spiratos, M. Mailvaganam, M. Page, "Superplasticizers for Concrete, Fundamentals, Technology and Practice", p. 113.