



12-14 de Noviembre del 2012
Facultad de Ingeniería Mochis, Universidad Autónoma de Sinaloa

EFFECTO EN LA ADICIÓN DE MASILLA DE MÁRMOL EN LAS PRESTACIONES Y ELABORACIÓN DE CONCRETOS CONVENCIONALES

N. Villegas¹, A.C.P. Santos¹, J. R. Betancourt¹, A. Diosdado¹.

¹ Facultad de Ingeniería, ciencias y Arquitectura. Universidad Juárez del Estado de Durango. Avenida Universidad s/n Frac. Filadelfia, Gómez Palacio, Durango. México

RESUMEN

El presente estudio valora las posibilidades de emplear el residuo de la industria de corte y tratamiento del mármol (masilla) para la elaboración de concretos convencionales con un alto y positivo impacto ambiental. Se estudia el efecto de la sustitución de la arena entre un 10 hasta un 80% por la masilla de mármol. Se valoran las características físicas y mecánicas del concreto y contempla la evolución de la resistencia a la compresión. Se comparan las distintas prestaciones de cada dosificación al incorporar el residuo. Se observa que la fluidez es ligeramente mayor empleando el residuo de mármol y las propiedades mecánicas resultan con impacto importante a partir de 40% de sustitución del residuo. Se concluye que la masilla, producto del residuo del tratamiento y producción del mármol, puede ser empleado para el uso de concretos convencionales hasta un 30% de sustitución del residuo.

Palabras claves: masilla, concreto, desempeño mecánico, adición

ABSTRACT

This study assesses the potential of using the waste industry and processing of marble cutting (putty) for the development of conventional concrete with a high and positive environmental impact. It is studied the effect of substitution of the sand between 10 to 80% by marble putty. We estimated physical and mechanical characteristics of concrete and contemplates the development of compressive strength. We compare the different features of each dosage to incorporate the residue. It is observed that the fluidity is slightly larger residue marble using the mechanical properties and impact are important with from 40% substitution of the residue. We conclude that the putty, treatment of waste product and production of marble may be employed for the use of conventional concretes to 30% substitution of the residue..

Key words: filler, concrete, mechanical properties, adition

INTRODUCCIÓN

El nivel de desarrollo alcanzado en la sociedad actual ha generado una mejora sustancial en la calidad de vida a través de la implantación de diferentes tecnologías que por sí mismas suponen la aparición de diferentes problemas ambientales. El consumo desmedido de los recursos naturales, así como el aumento de los residuos generados en la mayor parte de las actividades causantes de este desarrollo, han obligado a establecer sistemas de gestión y producción más eficientes, que permitan lograr un proceso de evolución sostenible.

Una de las responsables de este progreso es la industria de la construcción civil, y como consecuencia de ello se ha convertido en una de las responsables de la acumulación de residuos. En ese sentido, uno de los sectores de producción más importantes en el área marmolera, que produce una cantidad enorme de residuos, principalmente lodos y polvos procedentes de su elaboración (Zhi & Gibbs, 2005). Estos residuos generan un importante impacto ambiental, que se traduce en problemas sociales y económicos (Cerdera, 2009).

Este estudio se centra en la Comarca Lagunera, al norte de México, que forma parte de los principales productores y exportadores de mármol en el mercado internacional, manteniendo el primer lugar nacional en producción de bloques de mármol. La extracción anual alcanza más de un millón 800 mil toneladas, de las cuales, un 80% de la materia prima es procesada por la industria local. Sin embargo se mantiene un impacto ambiental significativo debido a la acumulación de escombros y residuos en los últimos años.

Hoy en día, se generan 450 toneladas de desechos por día (Solano et al, 2010) o sea 162.000 toneladas anuales, lo que representa un contaminante de alto impacto al ambiente y del suelo, en donde son depositados los desechos. Si bien, se ha percibido el interés de los empresarios de este ámbito por aminorar las afectaciones en la región, aún no han establecido normativas o restricciones que regulen al sector en lo que se refiere al vertido de todos los residuos. Esto ha generado un detrimento en la salud de la población y de la propia imagen urbana.

En ese sentido, se están desarrollando numerosas investigaciones a nivel nacional e internacional con el objetivo de reutilizar el Residuo del Mármol (RM) en diferentes materiales constructivos con el fin de disminuir la contaminación visual, ambiental y de daños a la salud (Bonavetti et al, 2003; Bosilijkov, 2003; Calmon, 2005; Girbes et al, 2008). También existe numerosos trabajos que se centran en el estudio de las propiedades físicas y químicas (Nehdi et al, 2004; Topcu et al, 2008; Vázquez et al, 2004, Fernández et al, 2004).

En la comarca lagunera, la industria de extracción de mármol llega a facturar entre 20 mil y 30 mil dólares al año según la Coordinación General de Minería Dirección General de Promoción Minera (2006). Tal como se puede observar en la figura 1 para los estados de Durango y Coahuila, la facturación de este sector es de gran importancia y de gran impacto económico, ya que desde que se inició con el fomento al subsector de fabricación de productos a base de minerales no metálicos, la economía de dos entidades federativas se ha incrementado considerablemente.

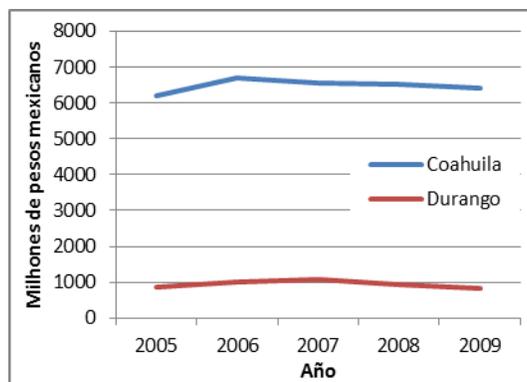


Figura 1 - Valor de los productos de la industria manufacturera en los estados de Durango y Coahuila (INEGI, 2010)

Al inicio de la industrialización los residuos se depositaban en vertederos, ríos, mares o cualquier otro lugar que se encontrara cerca. Con el desarrollo de este sector, la cantidad y variedad de residuos que se generan se ha incrementado en gran medida. Durante varios decenios se ha seguido eliminando por el simple sistema del vertido, y cada vez ha sido mayor la cantidad de sustancias químicas tóxicas. En los años cincuenta y sesenta se han comprobando las graves repercusiones sobre el ambiente que este sistema de eliminación de residuos representa (Santos, 2004).

Paralelamente la cantidad de todo tipo de residuos se ha aumentado de forma acelerada y se ha hecho evidente que se debe tratar adecuadamente para reducir sus efectos negativos. Hay objetos o materiales que son residuos en determinadas situaciones, mientras que se pueden considerar insumos para otras industrias, por ejemplo como las cenizas volantes en la elaboración de concretos (Neville, 1995).

Para este estudio se han realizado un diagnostico para identificar los diferentes residuos provenientes de las distintas etapas del proceso del corte y tratamiento de la industria del mármol, tal como se puede ver en la figura 2. En este trabajo se ha empleado el residuo de la etapa de corte, pulido y la etapa de acabado. Se producen del orden de 170 Kg de residuo seco por metro cúbico tratado, estando constituidos mineralógicamente por calcita de manera mayoritaria, con cuarzo y huntita $Mg_3Ca(CO_3)_4$ (Shahul 2009).

Por otro lado, los consumos de agua en dicha operación son de aproximadamente 1,5 m^3/m^2 de superficie aserrada, con lo que es necesario un control adecuado sobre la correcta manipulación de estos efluentes, que permiten tanto la recirculación de ésta o el vertido a cauces públicos sin riesgo de contaminación de las corrientes de aguas naturales.

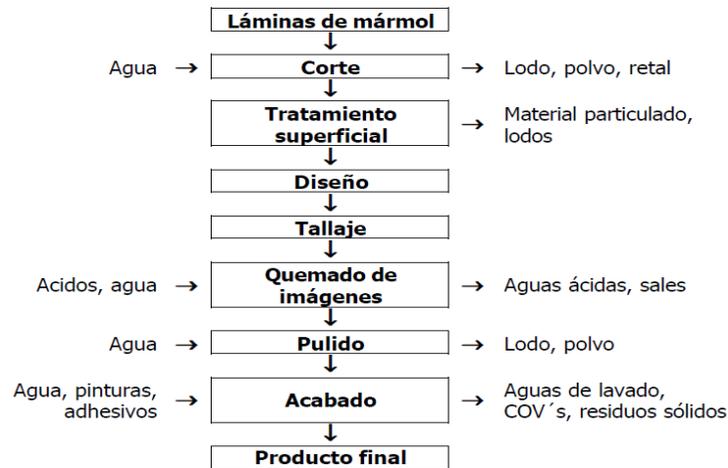


Figura 2 - Residuos generados por etapa del proceso de la industria marmolera (Solano et al, 2010)

El residuo utilizado en este trabajo ha sido recolectado directamente de empresas que reciclan el agua a través del filtrado del agua residual. Esto ha evitado la contaminación del residuo por otros materiales en los centros de depósito. Sin embargo, el destino de estos residuos es un depósito que en la mayoría de los casos no son los apropiados. El material ubicado en estos depósitos, al secarse, se va dispersando con el viento, y el resto simplemente forma un montón de escombros que afecta directamente con la imagen urbana de la región, tal como se puede observar en la figura 3.



Figura 3 - Acumulación de residuos vertidos dentro de la empresa estudiada.

En ella se observa el escombros generados en los depósitos de diferentes empresas estudiadas. Es importante resaltar que a través de décadas de exploración del mármol estos tiraderos se han tornado parte del entorno visual en muchos de los sectores de la Comarca Lagunera. Los residuos vertidos van desde piedras mayores a 30 cm hasta polvos finos que son transportados en toda la mancha urbana por los fuertes vientos o lluvias de tierra afectando de forma considerable a la población.

Dentro del estudio se ha identificado que los procesos que más generan residuos de lodos y polvos son el pre corte y el corte primario, donde se realiza el corte de los bloques para su manufactura en talleres y su transformación en planchas y piezas para su puesta en obra. Dicho proceso se lleva a cabo a través de discos diamantados, que necesitan de una refrigeración, en este caso agua para evitar el daño al equipo de corte y la invasión del polvo en el área de trabajo. De esta forma, la mezcla del agua de refrigeración y de la granalla producida en el corte forman los lodos de proceso. Estos efluentes están cargados de partículas finas y por lo general se recogen por sedimentación.

Este residuo es de alto grado de contaminación, tanto en el medio ambiente como en la salud (Shahul 2009); esto se debe a que en su composición química contiene elementos que erosionan los suelos y los deja estériles; y que al tener un contacto constante con la población origina problemas de salud. Sin embargo, carecen de elementos tóxicos o nocivos desde un punto de vista químico, siendo el mayor problema su almacenamiento en un lugar adecuado.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En los últimos años, la reutilización de residuos ha permitido concebir materiales que mantienen el ritmo de la construcción y al mismo tiempo disminuyen el impacto ambiental causado por la misma industria. En este trabajo, se presentan dos estudios que viabilizan la incorporación del RM en la fabricación de materiales para la industria de la construcción civil.

En primer lugar se presentan las características físico-químicas del RM empleado, así como de los materiales utilizados en este estudio. En seguida se expone el estudio de la sustitución de la arena por RM para la fabricación de hormigón. Para ello se han utilizado materiales disponibles en la Comarca Lagunera. La fabricación de hormigón con RM ha sido realizada con éxito en diferentes países (Vázquez et al, 2005), pero su utilización en dicha región de México no es ampliamente conocida por los ingenieros civiles.

Tabla 1 Composición química del RM

Componentes	CaCO₃	Fe	Al	SiO₂
Valor	95%	0.038%	0.10%	1.02%

Por ultimo, se muestra el estudio de la fabricación de ladrillos a base de RM. Para ello, es necesario que los ladrillos presenten una resistencia a compresión adecuada y una baja absorción, propiedades que han sido estudiadas en este trabajo.

Se ha utilizado arena y grava calizas de machaqueo, cemento tipo CPC 30R, y agua correspondiente a la red de Gómez Palacio. La composición química del RM utilizado en este estudio se presenta en la tabla 1.

En ella se puede observar que el RM está conformado básicamente por carbonato de calcio. Estas concentraciones de los componentes son adecuadas para la fabricación de productos de construcción con cemento, puesto que el carbonato de calcio es inerte y no produce reacciones posteriores en ninguna etapa del desarrollo de resistencias de la pasta de cemento.

La densidad del RM, arena y grava empleados es de 2.78 g/cm³, 2.65 g/cm³ y 2.68 g/cm³ respectivamente. Para realizar este el estudio se ha decidido disminuir al máximo el número de variables, por lo que se ha fijado la cantidad de cemento, la relación agua/cemento (a/c) y la cantidad de grava. Se ha realizado la sustitución de la arena por RM en peso en su estado natural, o sea, tal como sale de la planta. En la tabla 2 se muestran las dosificaciones realizadas en este estudio.

Tabla 2 - Dosificaciones empleadas

		Control	M10	M20	M30	M40	M50	M60	M70	M80
Arena	Kg/m ³	793	714	634	555	476	397	317	238	159
RM	Kg/m ³	0	79	159	238	317	397	476	555	634
Grava	Kg/m ³	1044	1044	1044	1044	1044	1044	1044	1044	1044
Agua	Kg/m ³	228	228	228	228	228	228	228	228	228
Cemento	Kg/m ³	325	325	325	325	325	325	325	325	325
a/c	-	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

Las dosificaciones han sido denominadas por M referente al residuo de mármol seguidas de un número que corresponde al porcentaje de sustitución de RM por arena. De esta forma la dosificación M30 equivale a 30% de RM y 70% de arena. No se ha realizado la dosificación M90 y M100 dado que los valores de resistencia a compresión de la M80 han sido bastantes reducidos lo que inviabilizaba su aplicación practica.

RESULTADOS

Tabla 3 - Resultados de los hormigones con RM

	Control	M10	M20	M30	M40	M50	M60	M70	M80
Revenimiento (cm)	16	14	16	15.5	15.5	19	16	20	16
Resistencia 7 días (Kg/cm ³)	162	165	123	127	107	90	70	60	58
Resistencia 28 días (Kg/cm ³)	221	205	164	147	130	115	108	104	87

Para estos hormigones se ha realizado los estudios de revenimiento (slump test) y resistencia a compresión a 7 y 28 días; los resultados se presentan en la tabla 3 y figura 4.

Se puede observar que el revenimiento no ha sido influenciado por la adición de RM, eso se debe a que el residuo cuando sale de la industria está prácticamente saturado y no absorbe agua de amasado. En esta serie de estudios no se ha realizado el control de humedad del RM, pero se esta realizando nuevamente una serie similar corrigiendo el contenido de agua en función de la humedad del residuo.

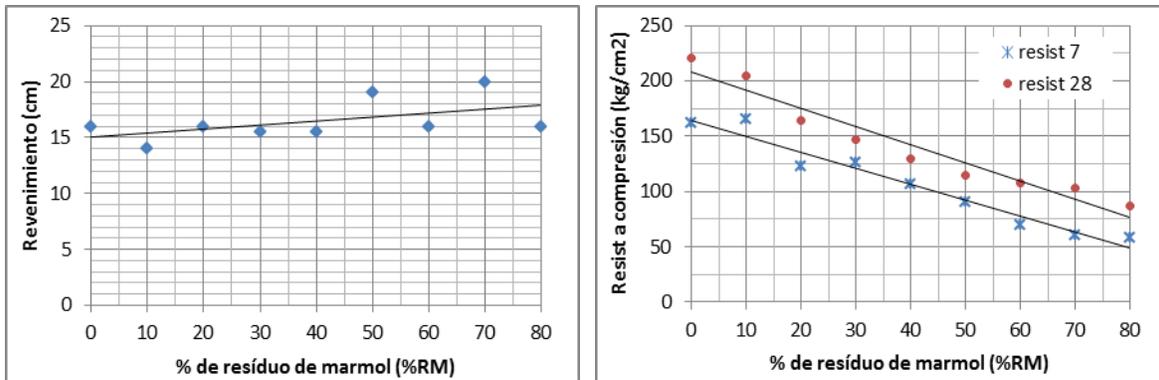


Figura 4 - a) Revenimiento b) Resistencia a compresión

Por otro lado, se puede constatar que a la medida que se incrementa el porcentaje de sustitución de arena por RM la resistencia a compresión disminuye. Dicha pérdida de resistencia es similar al porcentaje de RM, es decir la dosificación M40 tiene un 40% menos de resistencia a compresión. Sin embargo esto se puede corregir con un pequeño aporte de cemento y/o una ligera reducción del agua. Hay que considerar que el residuo no estaba seco con lo que la relación a/c real se incrementa ocasionando la pérdida de resistencia.

CONCLUSIONES

Se puede concluir que el aporte de RM en su condición natural disminuye la resistencia a compresión y que es necesario rehacer los estudios corrigiendo la cantidad de agua aportada. Entretanto este es una de las soluciones para la utilización del RM.

En años recientes, los avances en la tecnología del concreto se han enfocado en gran medida a desarrollar concretos que apoyen la sostenibilidad medioambiental. Para lograrlo, una vía ha profundizado en las posibilidades de utilización de una gran gama de subproductos y residuos industriales que pueden contaminar el aire, agua o suelo, tales como cenizas volantes, el humo de sílice, las escorias de altos hornos, arenas de fundición, entre muchos otros.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo manifiestan su agradecimiento al Programa de Mejoramiento de Profesores (PROMEP) de la Secretaria de Educación Publica de México (SEP) por la financiación de este proyecto; y a los técnicos del laboratorio de hormigón de la Facultad de Ingeniería Ciencias y Arquitectura de UJED por la ayuda a los trabajos realizados.

REFERENCIAS

Bonavetti, V.; Donza, H.; Menendez, G.; Cabrera, O.; Irassar, E. F. (2003) "Limestone filler cement in low w/c concrete: A rational use of energy". Cem. Concr. Res., 33, pp. 865-871.

Bosiljkov, V. B. (2003) "SCC mixes with poorly graded aggregate and high volume of limestone filler". *Cem. Concr. Res.*, 33, pp. 1279-1286.

Cerdera, A. F. (2009) Deshechos del mármol. De residuo a recurso económico y ambiental. *Revista Nova Ciencia*. España. Pp. 14 – 19.

Fernandez, L. Sánchez R. Brown, S. Batic, O. (2004). "Contribución de las puzolanas naturales de la zona del Camahue a la durabilidad del hormigón". *Revista de la Construcción*. Vol 3, No. 2 ISSN 0717-7925. Pp. 76-82.

Girbes, I.; Marti, P.; Manzanedo, B.; Granizo, M. L.; Perez, V. (2008). "Propiedades reológicas y mecánicas de hormigones autocompactantes que incorporan lodos de corte de mármol", *Proc. 1er cong. Español sobre Hormigón Autocompactante*, Eds. B. Barragan, A. Pacios y P. Serna, Valencia, España.

INEGI (2010). Encuesta Industrial Mensual. Ampliada. Instituto Nacional de Estadística y Geografía

Nehdi, M.; Pardhan, M.; Koshowski, S. (2004) "Durability of self-consolidating concrete incorporation high-volume replacement composite cements". *Cem. Concr. Res.*, vol. 34, no 11, pp. 2103-2112.

Neville, A.M. (1995). "Properties of Concrete", 4th ed., Longman Group, Londres, Inglaterra. 844 pp

NMX-C-036-ONNCCE-2004, Industria de la construcción-bloques, ladrillos o tabiques y tabicones-resistencia a la compresión-método de prueba.

NMX-C-037-ONNCCE-2005, Industria de la construcción-bloques, ladrillos o tabiques y tabicones-determinación de la absorción de agua y absorción inicial de agua.

NMX-C-404-ONNCCE-2005, Industria de la construcción-bloques, ladrillos o tabiques y tabicones para uso estructural-especificaciones y métodos de prueba.

Santos Ruiz, J. (2004) "Estudio para tratar de identificar posibles aplicaciones industriales para los residuos generados en el proceso de corte y elaboración de piedra natural, en concreto del mármol, analizando su viabilidad técnica y económica", Proyecto Final de Carrera, Universitat Politècnica de Catalunya.

Shahul H. (2009). Properties of green concrete containing quarry rock dust and marble sludge powder as fine aggregate VOL. 4, NO. 4, *Journal of Engineering and Applied Sciences*.

Solano, P.; De la Cruz, A.; Vargas, R. (2010) "Tendencias para la sustentabilidad de los materiales de construcción utilizando polvo de mármol". Tesis Licenciatura. FICA-UJED.

Topcu, I. B.; Bilir, T.; Uygunoglu, T. (2008) "Effect of waste marble dust content as filler on properties", *Constr. Build. Mater.*, vol. 23, I.5, pp. 1947-1953.

Vázquez, E.; Hendriks, Ch. F. y Janssen, G. M. T. (eds.). (2004).*Proc. RILEM International Conference on "The Use of Recycled Materials in Buildings and Structures"*, Barcelona, Spain