



Revista de la Construcción

ISSN: 0717-7925

revistadelaconstruccion@uc.cl

Pontificia Universidad Católica de Chile
Chile

SANTOS, A.; VILLEGAS, N.; BETANCOURT, J.

Residuo de mármol como insumo en la construcción civil - diagnóstico de la Comarca Lagunera

Revista de la Construcción, vol. 11, núm. 2, agosto, 2012, pp. 17-26

Pontificia Universidad Católica de Chile

Santiago, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127625512007>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

*Marble waste as
construction material –
a diagnosis of the Laguna
region*

Residuo de mármol como insumo en la construcción civil - diagnóstico de la Comarca Lagunera



Autores

SANTOS, A. Universidad Juárez del Estado de Durango,
parapinski@ujed.mx
Durango, México

VILLEGAS, N. Universidad Juárez del Estado de Durango,
nvillegas@ujed.mx
Durango, México

BETANCOURT, J. Universidad Juárez del Estado de Durango,
nvillegas@ujed.mx
Durango, México

Fecha de recepción 16/06/2012

Fecha de aceptación 24/07/2012

Resumen

El consumo desmedido de los recursos naturales, así como el aumento de los residuos generados en la mayor parte de las actividades causantes del 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 este estudio, se ahonda en las posibilidades de utilización del residuo de la industria del corte y tratamiento superficial del mármol como *filler* para la producción de hormigón y como base para la fabricación de ladrillos. Los resultados muestran que es de fundamental importancia reutilizar el residuo de mármol para disminuir el impacto ambiental en la Comarca Lagunera e indica dos posibles soluciones.

Palabras clave: Residuo de mármol, impacto ambiental, Comarca Lagunera

Abstract

The excessive consumption of natural resources and the increasing waste generated in most of the development activities have required establishing management systems and more efficient production, which will achieve a sustainable development process. Civil construction industry is one of the responsible for this progress, and as a consequence it has become one of

the responsible for the accumulation of waste. This paper introduces the possibilities of using the waste from the manufacture of marble as filler for concrete production and as a basis for making bricks. The results show that it is of fundamental importance marble waste reuse to reduce the environmental impact in the Laguna region and indicates two possible solutions.

Keywords: *Marble waste, environmental impact, Laguna region.*

1. 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.

En la actualidad 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.

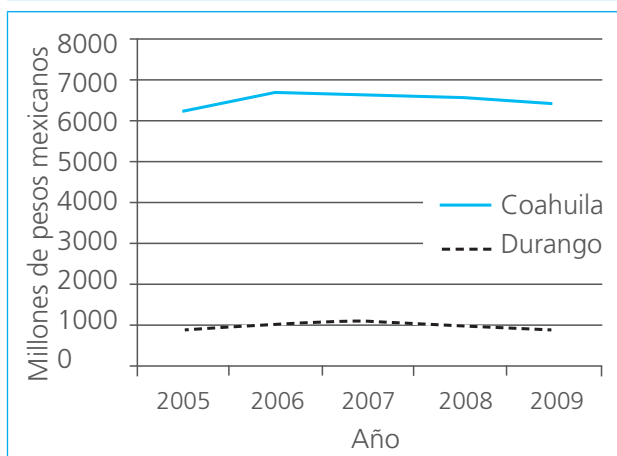
Asimismo, existe una fuerte contaminación del suelo debido a la acumulación de polvo sobre la superficie donde es depositado el residuo, por ocupación parcial de la superficie por escombros. De esta manera, el suelo absorbe el óxido de calcio (CaO) del residuo que con el tiempo va provocando que el suelo en donde se encuentra se vuelva infértil y no permita el crecimiento de vegetación. (Rodríguez, 2012)

Además de ser un contaminante para el ambiente y los suelos, esta contaminación produce numerosas enfermedades, como es la neumoconiosis, la cual es la principal causa de muerte entre los trabajadores de la industria del mármol, al inhalar el polvo que se genera en el área de trabajo acumulándose en los pulmones provocando que la respiración sea complicada, originando cáncer (Cuervo *et al.*, 2003). Es necesario enfatizar que estas enfermedades no solo corresponden al personal que labora dentro de las empresas, sino también a las personas que viven en comunidades vecinas a los vertederos del residuo, y a toda la población de la comarca debido a la climatología de la región. En ella es muy frecuente el fenómeno de lluvia de tierra, conocido como "lluvias laguneras", las cuales transportan además de tierra el residuo de dicha industria.

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 existen 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).

Dichos trabajos y estudios previos reflejan la clara necesidad de reducir la cantidad de desechos del mármol, por medio de propuestas de utilización de los mismos en la elaboración de nuevos materiales de construcción (Codina, 2002).

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



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.

1.1. Caracterización del residuo del mármol y su afectación

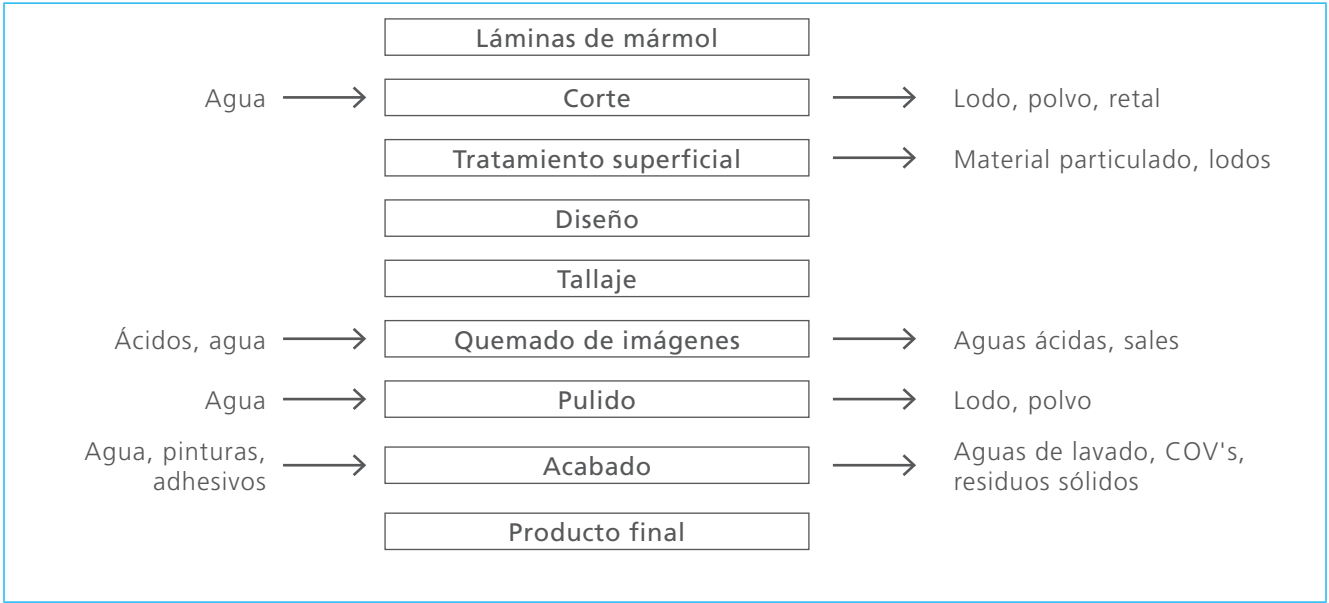
Al inicio de la industrialización los residuos se depositaban en vertederos, ríos, mares o cualquier otro lugar que se encontrara cerca. Con el desarrollo de este sector, la cantidad y variedad de residuos que se generan se ha incrementado en gran medida. Durante varios decenios se ha seguido eliminando 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 ha realizado un diagnóstico 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 $1,5\text{ m}^3/\text{m}^2$ de superficie aserrada, con lo que es necesario un control adecuado sobre la correcta manipulación de estos efluentes, que permiten tanto la recirculación de esta 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 las figuras 3.

En ella se observa el escombros generado 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.

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



Dentro del estudio se ha identificado que los procesos que más generan residuos de lodos y polvos son el precorte 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 gránula 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.

1.2. Estado actual de la utilización de los residuos de mármol

La utilización de los residuos de la elaboración de mármol es básicamente la misma que la del carbonato cálcico (CaCO_3). Los productos competidores de los residuos de mármol y caliza marmórea son el carbonato cálcico (triturado y molido en seco) y también el caolín y talco, siendo los problemas fundamentales de los residuos la humedad y la heterogeneidad de color.

Entre los usos más comunes de los residuos del mármol se puede destacar: en la industria del cemento, desulfurante, aplicaciones en la industria del papel (hasta un 25%), elaboración de pinturas (hasta un 30%) mejorando las características reológicas de la emulsión, usos agrícolas para reducir la acidez de los suelos (hasta niveles aceptables), prefabricados en la construcción consumo de media tonelada de residuo por cada m^3 de elemento prefabricado, fabricación de mármoles artificiales, objetos de decoración, restauración de elementos constructivos, entre otros (Molina y Ramos, 2003)

Es notoria la cantidad de trabajos donde se comprueba la idoneidad de finos calcáreos para la elaboración de hormigón (Pera *et al.*, Bonavetti *et al.*, 2003; Bosiljkov, 2003; Bederina, 2005).

Corinaldesi *et al.* (2005) indican que el polvo de mármol es una adición efectiva para mejorar la cohesión

de las mezclas y que permite sustituir hasta un 10% de arena sin afectar la resistencia a compresión. Zhu y Gibbs (2005) estudian el uso de distintos tipos de *fillers* de naturaleza caliza y de creta en hormigones autocompactantes (HAC), concluyen que ambos son aptos para su uso como *fillers*, con ligeras modificaciones en la dosificación de los aditivos, siendo esta menor en el caso de los *fillers* de naturaleza caliza.

Estudios llevados a cabo por Correia Gomes *et al.* (2005) concluyen que la utilización de los residuos de corte de mármol y granito hasta en un 50% en peso del cemento, no conlleva ningún perjuicio para las propiedades de los hormigones y corroboran que la adición de dichos residuos ayuda a conseguir las propiedades de autocompactabilidad.

Debido a la semejanza química que existe entre el polvo del residuo del corte de mármol y el *filler* calizo habitualmente utilizado en el HAC, Girbes *et al.* (2008) han evaluado las posibilidades de sustituir el primero por el segundo. En este sentido, ensayos microestructurales han comprobado que la adición de *filler* o lodos del corte de mármol favorece la hidratación del cemento a tiempos cortos.

En general, el uso del residuo como alternativa al tradicional *filler* calizo no altera la hidratación final de las pastas compuestas de cemento portland, Alyamac e Ince (2007) enfatizan que este residuo puede ser económicamente utilizado. En definitiva, se están desarrollando técnicas de construcción encaminadas a minimizar el impacto generado sobre el medio ambiente.

2. Metodología

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.

Por último, 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.

2.1. Materiales

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.

Tabla 1 Composición química del RM				
Componentes	CaCO3	Fe	Al	SiO2
Valor	95%	0.038%	0.10%	1.02%

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.

2.2. Estudio de la incorporación de RM al hormigón

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.

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 bastante reducidos lo que inviabilizaba su aplicación práctica.

Para estos hormigones se han 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 está realizando nuevamente una serie similar corrigiendo el contenido de agua en función de la humedad del residuo.

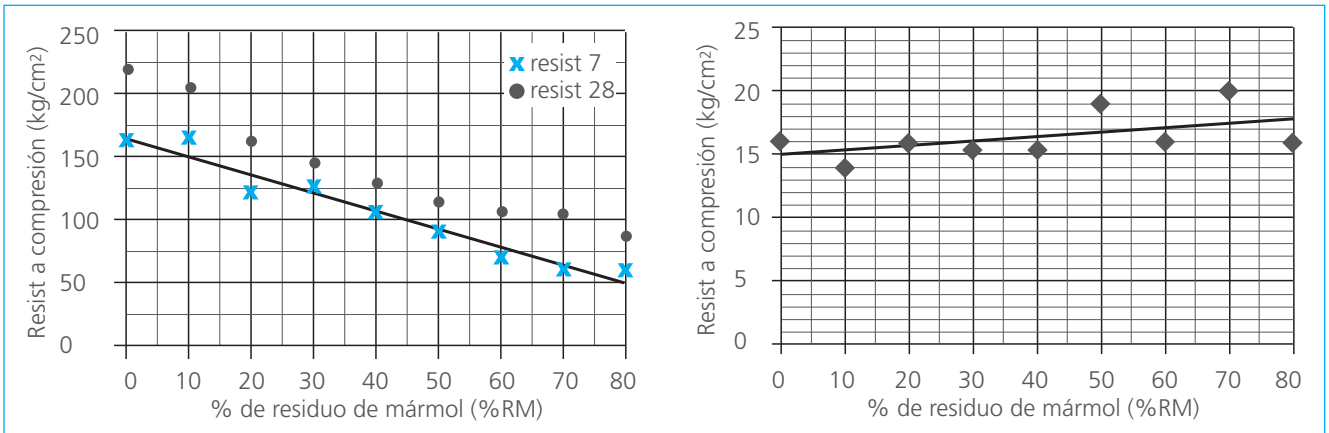
Tabla 2 - Dosificaciones empleadas

		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

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 ²)	162	165	123	127	107	90	70	60	58
Resistencia 28 días (kg/cm ²)	221	205	164	147	130	115	108	104	87

Figura 4 - a) Revenimiento b) Resistencia a compresión



Por otro lado, se puede constatar que a 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.

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 esta es una de las soluciones para la utilización del RM.

2.3. Estudio de la fabricación de ladrillos

En esta línea de estudio se está realizando una serie de dosificaciones empleando como base el RM. Para diferentes mezclas se ha estudiado la influencia de la forma de los ladrillos: cilindros de diámetro 15 cm y 7.5 cm de altura y cubos de 5 cm. Se ha concluido que la forma de los ladrillos no ha influenciado los resultados y se ha decidido estudiar primero la influencia de los diferentes porcentajes del RM.

Para la fabricación de los ladrillos se ha empleado el RM como base y se ha aportado diferentes cantidades de cemento. El porcentaje de agua se ha mantenido constante, es decir se ha alterado la relación entre cemento y RM pero como ambos son materiales finos no se ha alterado la cantidad de agua. En la tabla 4 se muestra la serie de dosificaciones realizadas a base de RM. El ensayo de absorción se ha realizado según la NMX-C-037 y el de resistencia a compresión según la NMX-C-036. Para cada muestra se han realizado 20 ladrillos.

Se puede observar que la absorción no ha cambiado en función de la cantidad de cemento. Los valores de absorción están dentro del rango de valores de la NMX-C-404 para ladrillos no estructurales (máx. 21%) pero no son aceptables para ladrillos estructurales (máx. 15%).

En cuanto a la resistencia a compresión la misma NMX-C-404 limita como resistencia mínima para ladrillos estructurales 100 kg/cm² y para ladrillos no estructurales 60 kg/cm². Nuevamente los resultados apuntan para un ladrillo no estructural. Se puede observar que hay una influencia importante en la resistencia el incremento de 8 a 11% de cemento, pero a un mayor porcentaje no hay incremento en la resistencia.

Tabla 4 Resultados de los ladrillos a base de RM

Muestra	Cemento	Agua/ (c+RM)	Resistencia kg/cm ²	Absorción
1	8%	15%	45.83	17%
2	11%	15%	81.56	16%
3	14%	15%	82.76	18%

Como conclusión de esta etapa se puede decir que se ha podido obtener un ladrillo no estructural con 11% de cemento, lo que hace que el precio sea bastante atractivo. Para la siguiente etapa el objetivo es encontrar una dosificación para realizar ladrillos estructurales.

3. Conclusiones

Este trabajo ha realizado un estudio en el proceso de la industria de extracción y corte de mármol. Se puede concluir que es imperante que se reaproveche el RM para disminuir el impacto ambiental de la Comarca Lagunera.

En este estudio se demostró que es viable la incorporación de RM para la fabricación de hormigón convencional para su aplicación no estructural, sin embargo se está desarrollando una dosificación que permita su aplicación estructural.

Además se ha mostrado que la fabricación de ladrillos a base de RM es técnicamente posible y su costo puede ser bastante reducido debido a que su composición es 74% de dicho residuo.

Es necesario seguir avanzando en ambas líneas de trabajo para obtener dosificaciones definidas, considerando la humedad del residuo y que evite la pérdida de resistencia a compresión del material.

4. Agradecimientos

Los autores de este trabajo manifiestan su agradecimiento al Programa de Mejoramiento de Profesores (PROMEP) de la Secretaría de Educación Pública 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.

5. Referencias

- Agullo, L. García, T. Aguado, A. Ravindra, G. (2012). "Estudio relativo al diseño de morteros con incorporación de caucho para la fabricación de paneles ligeros". Revista Ingeniería Civil Sostenible (RICS). Vol. 1. No. 1. Pp.18-35.
- Bederina, M.; Khenfer, M. M.; Dheilly, R. M.; Queneudec, M. (2005) "Reuse of local sand: effect of limestone filler proportion on the rheological and mechanical properties of different sand concretes". Cem. Concr. Res., vol. 35, pp. 1172-1179.
- Bonavetti, V.; Donza, H.; Menéndez, 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) Desechos del mármol. De residuo a recurso económico y ambiental. Revista Nova Ciencia. España. Pp. 14-19.
- Corinaldesi, V.; Moriconi, G.; Naik, T. R. (2005) "Characterization of marble powder for its use in mortar and concrete", CANMET/ACI/JCI International Symposium on Sustainable Development of Cement, Concrete, and Concrete Structures, Toronto, Canada.
- Correia Gomes, P. C.; Monteiro Lisboa, E.; Barboza de Lima, F.; Ramos Barboza, A. S. (2005) "Obtención de hormigón autocompactables utilizando residuo de la industria de corte de bloques de mármol y granito", Proceedings Simposio Fib "El Hormigón Estructural y el Transcurso del Tiempo", Eds. A. DiMaio y C. Zega, La Plata, Argentina.
- Cuervo González J. Eguidazu Pujades J. L., González Fernández A., Guzmán Fernández A., Hevia Fernández J. R., Isidro Montes I., Martínez González C., Quero Martínez A., Rego Fernández G., Rodríguez Suárez V. (2003). Silicosis y Otras Neumoconiosis.
- Codina S. (2002) Aprovechamiento de los residuos del Mármol para la fabricación de Materiales compuestos. Tesis Doctoral. Universidad Jaén. Escuela universitaria Politécnica de Linares. España. Pp. 253.
- Fernández, 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.; Pérez, 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.
- Molina, A.; Ramos, J.J. (2003) "Gestión ambiental de los residuos de piedra natural (caso del mármol)." I Jornada Técnica de Ciencias Ambientales. Madrid.
- Pera, J.; Husson, S.; Guilhot, B. (1999) "Influence of finely ground limestone on cement hydration". Cem. Concr. Compos., 21, pp. 99-105.
- Rodríguez, C.L. (2012) "Caracterización de los sitios destinados a tiraderos de residuos del marmol en la Comarca Lagunera". Tesis de Licenciatura. FICA-UJED.
- 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

Zhu, W.; Gibbs, J. C. (2005) "Use of different limestone and chalk powders in self-compacting concrete". Cem. Concr. Res., vol. 35, no 8, pp. 1457-1650.