

Revisión sobre el uso de residuos de mármol, para elaborar materiales para la construcción.
Review of the use of marble waste to produce building materials.



Julio Roberto Betancourt Chávez
Ingeniero Civil
Doctor en Ingeniería Civil, área: Construcción
Sustentable
Profesor-Investigador
Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura
Universidad Juárez del Estado de Durango.
Gómez Palacio Durango, México.
Teléfono: 871-7152017 E-mail: jbetancourt@ujed.mx



Liliana Guadalupe Lizárraga Mendiola
Ingeniero Civil
Dra. en Ciencias de la Tierra, área: Geología
ambiental.
Profesor Investigador.
Área Académica de Ingeniería,
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
Pachuca de Hidalgo, México
E-mail: lililga.lm@gmail.com



Rajeswari Narayanasamy
Ingeniero Civil
Doctor en Ingeniería, área: Sistemas de Planeación
y Construcción
Profesor-Investigador
Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura
Universidad Juárez del Estado de Durango.
Gómez Palacio Durango, México.
Teléfono: 871-7152017 E-mail: naraya@ujed.mx



Francisco Javier Olguín Coca
Ingeniero Civil
Dr. en Ingeniería, área: Materiales
Profesor Investigador.
Área Académica de Ingeniería,
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
Pachuca de Hidalgo, México
E-mail: jolguin77@gmail.com



Agustín Sáenz López
Ingeniero Civil
Doctor en Ingeniería Civil, área: Sistemas de
Planeación y Construcción.
Profesor-Investigador
Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura
Universidad Juárez del Estado de Durango.
Gómez Palacio Durango, México.
Teléfono: 871-7152017
E-mail: agusgpl@hotmail.com

Julio Roberto Betancourt Chávez, Lilita Guadalupe Lizárraga Mendiola, Rajeswari Narayanasamy, Francisco Javier Olguín Coca, Agustín Sáenz López. Revisión sobre el uso de residuos de mármol, para elaborar materiales para la construcción.

Recibido: 08-07-15
Aceptado: 14-08-15

Resumen:

En este estudio, se presenta un análisis respecto a los residuos de mármol y de las investigaciones realizadas alrededor del mundo, sobre su posible aplicación en materiales para la construcción. Particularmente al final de artículo se hace una semblanza del proyecto que se está realizando en la Comarca Lagunera (Ubicada en el norte de México), sobre la aplicación de residuos en la elaboración de ladrillos estructurales.

El proyecto, tiene como objetivo, encontrar un uso factible a los residuos de mármol, y contribuir a revertir los efectos negativos que causa al medio ambiente y a la población del área de influencia de estos residuos.

Las aplicaciones realizadas en las investigaciones, en general han sido básicamente para utilizar el residuo de mármol como sustituto de algún material (cemento, arena) para elaborar, concretos, morteros, pavimentos, bloques y ladrillos. Asimismo, se puede apreciar que las mediciones realizadas son principalmente de resistencia a la compresión.

Palabras clave: Polvo de mármol, Ladrillo estructural, Materiales para la construcción.

Abstract:

In this study, an analysis for residues of marble and research conducted around the world, on its possible application in building materials is presented. Particularly at the end of article a portrait of the project that is being conducted in the Laguna Region (located in northern Mexico), on the implementation of waste in the development of structural bricks are made. The project aims to find a feasible using the marble waste, and help reverse the negative effects caused to the environment and the population of the area of influence of these wastes. Applications made in research in general have been basically to use the marble waste as a substitute for any material (cement, sand) to develop, concrete, mortars, pavements, blocks and bricks. Also, it can be appreciated that the measurements made are mainly compression resistance.

Keywords: Marble dust, Structural brick, Building materials.

Introducción:

Durante siglos, el mármol se ha empleado en la construcción con usos muy variados en todo el mundo, principalmente en los países que cuentan con las canteras más grandes como lo son: Italia, España, Portugal, Turquía y Grecia.

Como toda industria, ésta genera millones de toneladas de residuos, y sin embargo, las empresas del ramo en general no cuentan con programas para su gestión.

Julio Roberto Betancourt Chávez, Liliana Guadalupe Lizárraga Mendiola, Rajeswari Narayanasamy, Francisco Javier Olguín Coca, Agustín Sáenz López. Revisión sobre el uso de residuos de mármol, para elaborar materiales para la construcción.

Actualmente a nivel mundial se vive una revolución en el aspecto del cuidado al medioambiente y muchos investigadores en el mundo han fijado sus ojos en los residuos de la industria del mármol. Entre los estudios que existen, se realizan esfuerzos para tratar de mitigar los efectos negativos, buscando alternativas para su uso en la fabricación de otros materiales, utilizando como materia prima dichos residuos [1,2]. Tal es el caso de experimentos en concretos autocompactables [3,4,5], en morteros [6], en bloques [7], así como, en concretos [8,9]. Por otro lado se ha utilizado también como absorbente de contaminantes [10,11], además de bloques para pavimentos [12]. Su utilización en la elaboración de ladrillos, se ha aplicado en diversas formas [13,14].

El cuidado al medioambiente, considera los efectos tanto de lo que ya está hecho, como de lo que está por realizarse nivel de construcción. Es así que podemos ver cómo han surgido diversos pronunciamientos para el desarrollo sustentable, por ejemplo: los Principios de Melbourne para la sostenibilidad de las ciudades, señalan 10 aspectos a considerar para mitigar los impactos negativos de la falta de respeto y cuidado al medioambiente, centrándose en la planeación con una visión a largo plazo para mejorar la sostenibilidad de las mismas impactando positivamente a sí mismas y al mundo entero.

Considerando esta situación y que las personas y la naturaleza conforman un todo, las ciudades deben ser diseñadas y concebidas tomando en cuenta que dañan y estimulan la explotación de recursos naturales. Es importante señalar que la construcción es una de las industrias que más recursos naturales consume; un ejemplo es Estados Unidos, donde se emplea hasta un 40 % [15]. Asimismo, han surgido teorías como "Cradle to cradle" (de la Cuna a la cuna) [16], que hacen un intenso análisis del uso de los recursos y de cómo podemos generar un ciclo de vida óptimo que minimice al máximo los residuos.

México cuenta con normas (ISO 14000, NOM-120-SEMARNAT-2011) y programas que incluyen los aspectos de la sustentabilidad, como: la Comisión Nacional de la Vivienda (CONAVI) que ofrece subsidios si se utilizan tecnologías para la conservación del agua, uso de materiales térmicos y la generación de energía eléctrica con energía solar; asimismo, las Hipotecas Verdes implementadas por el Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT), que apoyan, a través del aumento en el monto de los créditos, a aquellas construcciones que integren en sus diseños ventajas ambientales, como: la conservación del agua y la generación de energía a través de celdas solares para iluminación y calentadores de agua de tubos.

CARACTERÍSTICAS DEL MÁRMOL

El mármol es una roca metamórfica compacta formada a partir de rocas calizas que, sometidas a elevadas temperaturas y presiones, alcanzan un alto grado de cristalización. El componente básico del mármol es la calcita (CaCO_3), cuyo contenido supera el 90%; los demás componentes (arcilla, cuarzo, mica, pirita, óxido de hierro, entre otros), considerados "impurezas", son los que dan gran variedad de colores en los mármoles y definen sus características físicas.

Es un material de baja conductividad térmica y eléctrica, con una dureza entre 3 y 4 en la escala de Mohs; con una densidad de 2711 kg/m^3 ; su punto de fusión es de 1172 K (899°C). Al microscopio no presenta orientación estructural, es muy compacto. Tiene mayor dureza, resistencia y durabilidad que las calizas¹.

Es muy utilizado en la industria de la construcción, principalmente como material para pisos, muebles, cubiertas y columnas. El mármol fragmentado es utilizado como agregados en concreto, además de utilizarse como materia prima en la producción de cal viva. En menor escala se utiliza como base para elaborar escultura y arte funerario. "Los mármoles son rocas que admiten el pulimento adquiriendo cierto brillo, como los "mármoles" verdes, que consisten en serpentinas con

Julio Roberto Betancourt Chávez, Liliana Guadalupe Lizárraga Mendiola, Rajeswari Narayanasamy, Francisco Javier Olguín Coca, Agustín Sáenz López. Revisión sobre el uso de residuos de mármol, para elaborar materiales para la construcción.

un contenido nulo de carbonato cálcico, o los travertinos que son rocas calizas sedimentarias y algún tipo de calizas.

Generalmente la extracción del mármol, se realiza en canteras a cielo abierto por medio del corte con barrenos e hilo diamantado y sierras. En algunos casos se utilizan explosivos para facilitar la extracción, también se utilizan galerías subterráneas cuando los bancos son de bajo potencial pero de gran valor.

De esta manera, se obtienen bloques que se llevan a talleres de producción de laminados, los cuales pueden estar cercanos al banco o en lugares próximos a su comercialización. El proceso de elaboración es sencillo, los cortes se realizan con sierras o laminas diamantadas para dividir el bloque en placas más fáciles de trabajar; posteriormente, se realiza un proceso de pulido y abrillantado, para posteriormente realizar un corte con sierras manuales si fuera necesario para dar las dimensiones requeridas. Finalmente se realiza el proceso de biselado, secado y pulido, quedando las piezas listas para su embarque y transportación.

MÁRMOL EN EL MUNDO

Las canteras de mármol más grandes, se encuentran en Europa en países como: Italia, España, Portugal, Turquía y Grecia. Asimismo, los principales productores de mármol son: India, Turquía, China, Italia, España. En América destacan por su producción: Estados Unidos, Canadá, México y Brasil [17].

Particularmente en México, las dos principales zonas productoras, son la conocida como La Laguna ubicada en los límites de los estados de Coahuila, Durango y Zacatecas y la que se encuentra en el estado de Puebla; además, existen otras en los estados de Querétaro, Hidalgo, Oaxaca y Jalisco¹, como puede apreciarse a continuación (Figura 1).



Figura 1. Perfil del mercado del mármol DGPM (2006)

La producción en México al año 2005 alcanzó las 3'595,970 toneladas, lo cual indica un incremento de más del 27 % con respecto al año anterior. Por otro lado las exportaciones se mantuvieron durante los últimos 10 años con una tasa de incremento promedio anual del 18.6 % fortaleciendo el mercado del mármol¹.

Esta situación, provoca que la cantidad de residuos se incremente de manera directa y proporcional a la producción, sobre todo con la producción de losetas y pisos. El proceso de elaboración es sencillo, se realiza un corte primario para dividir el bloque en placas que permitan

¹ Perfil del mercado del mármol, Coordinación General de Minería, Dirección General de Promoción Minera, México (2006)

Julio Roberto Betancourt Chávez, Liliana Guadalupe Lizárraga Mendiola, Rajeswari Narayanasamy, Francisco Javier Olguín Coca, Agustín Sáenz López. Revisión sobre el uso de residuos de mármol, para elaborar materiales para la construcción.

una mejor manipulación, realizando un corte secundario de ser necesario con sierras manuales. Posteriormente se realizan los acabados, proceso mediante el cual se estima que por cada metro cúbico manufacturado se producen 808.77 kg de residuos [18]. Inclusive se llega a producir hasta el 70 % de residuos con respecto a la pieza en bruto que se obtuvo del banco [9].

Este tipo de residuos representan en la actualidad un desecho industrial que, en el mejor de los casos se utiliza como relleno de terrenos y generalmente se acumula en los patios de las marmolerías y que con la acción del aire y agua, se convierte en causa de contaminación ambiental y problemas de salud.

Es importante señalar que el problema más crítico que generan los residuos es el polvillo que se dispersa en el ambiente con la acción del viento, provocando problemas ambientales y de salud. Además, genera también problemas económicos a los empresarios de este giro, ya que tienen que pagar multas por no contar con un programa para la gestión de los residuos. En general provocan problemas a toda la sociedad de la región, ya que además de los problemas de salud, provoca otros por la acción del polvo en vehículos y casas-habitación, además de la contaminación visual.

De acuerdo con las estadísticas que registra el Sector Salud (2010), la incidencia de asma se ha duplicado en la última década con una prevalencia de asma en el 6 % de la población. La rinitis alérgica se elevó a un 14 %, de ahí que ya sean considerados como unos de los padecimientos más frecuentes entre la ciudadanía², reflejo de que el medio ambiente está afectando a los laguneros. "Debido al tipo de flora y condiciones climáticas que privan en La Laguna, se tienen altos padecimientos alérgicos entre la población, además de un alto registro de rinitis, rinoconjuntivitis y asma bronquial" [19].

"El exceso de polvo y polen por la falta de lluvias, así como la contaminación ambiental han hechos predominantes estas enfermedades en tiempo e intensidad. La complicación más frecuente que tenemos es el asma bronquial derivado de una marcha atópica en que el paciente inicia con una rinitis alérgica, congestión nasal, ojos irritados, mucosa trasparente, estornudos, comezón en nariz y ojos hasta llegar a la complicación más severa que es el asma bronquial" [19].

APLICACIONES DE RESIDUOS DE MÁRMOL EN EL MUNDO

Diversos proyectos se han realizado con la finalidad de dar un uso a éstos residuos y tratar de eliminar su diseminación en los entornos urbanos y rurales. Dichas investigaciones han sido más prolíficas durante los últimos 8 años, principalmente en Asia y Europa y en menor escala en América. A continuación se hace una breve reseña de algunos proyectos que utilizan residuos de mármol.

En Murcia el suelo del Saladar de Lo Poyo que por años ha sido contaminado por vertidos de la minería, se ha mejorado con "enmiendas". Se han empleado residuos de la industria del mármol, aumentando el pH y permitiendo un mejor desarrollo y fijación de las plantas al suelo [20]. En Almería aplicaron los residuos de mármol en un proyecto para convertirlos en un material capaz de controlar la acidez y contaminación de los estériles de minas [21].

En Egipto se realizaron experimentos para evaluar el uso del polvo de mármol como un adsorbente para la eliminación de contaminantes orgánicos en soluciones acuosas. El polvo de mármol se ha utilizado con éxito para la eliminación de algunos contaminantes orgánicos, como el azul de

² Jurisdicción sanitaria número VI, Coahuila, 2008.

Julio Roberto Betancourt Chávez, Liliana Guadalupe Lizárraga Mendiola, Rajeswari Narayanasamy, Francisco Javier Olguín Coca, Agustín Sáenz López. Revisión sobre el uso de residuos de mármol, para elaborar materiales para la construcción.

metileno que es absorbido de manera rápida hasta un 98% dentro de 10 min [10] con la gran ventaja que es de bajo costo y no plantea problemas de eliminación.

Por otro lado, se han desarrollado proyectos con polvo de mármol en soluciones acuosas para eliminar iones de plomo en contaminantes inorgánicos. Se encontró, que la absorción era de naturaleza química y que el proceso de absorción de iones de plomo sobre los desechos de mármol en polvo fue espontáneo y de naturaleza endotérmica, mostrando ser un método eficaz [11].

Recientemente se ha experimentado con mezclas para concreto auto-compactable utilizando polvo de mármol como *filler* en sustitución del cemento hasta un 30 %, evaluando su resistencia a la compresión y retracción, llegando a la conclusión que su uso puede representar un *filler* adecuado para concretos auto-compactables [3]. Otras investigaciones encontraron que puede ser un buen sustituto de arena en éstos concretos [4]. Asimismo, en Turquía encontraron que la adición del polvo de mármol como *filler* no afecta la trabajabilidad del concreto; sin embargo, su resistencia a la compresión se ve afectada para mezclas por encima de un $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$ [5].

En algunos países de Asia, se han realizado proyectos que incluyen el uso del polvo de mármol en concretos [22]. Estos autores elaboraron mezclas utilizando como sustituto parcial del cemento el humo de sílice (8 % fijo) y polvo de mármol en diferentes porcentajes (0%,8%,10% y 12 %). Ellos elaboraron elementos cúbicos de 150 mm por lado y elementos cilíndricos de 150X300 mm, para medir su resistencia a la compresión, observando que la trabajabilidad disminuye un poco al agregar éstos elementos y además, la resistencia a la compresión se incrementó al agregar humo de sílice al 8 % en combinación con un 8 % de polvo de mármol.

Por otro lado, se ha encontrado que utilizar residuos de mármol como agregado grueso en concretos, tienen un desempeño similar al concreto tradicional en algunas de sus características físico mecánicas principalmente en términos de durabilidad, descubriendo que es muy factible su uso [23].

Existen otros estudios que experimentaron con el uso de polvo de cantera y de mármol [8], además de piedra de mármol en sustitución de los agregados en el concreto [9]. Estos autores llegaron a la conclusión de que utilizando hasta un 75 % de agregados producto de los residuos de mármol es muy beneficioso en su resistencia a la compresión.

Hay algunos intentos de utilizar los residuos en pavimentos y en adoquines de concreto para pavimento [12] y en casos aislados se ha utilizado también en morteros [6]. Un proyecto muy importante respecto al uso de los residuos en bloques de concreto se realizó en Jordán y se le dio seguimiento durante tres años con resultados muy alentadores, motivando su uso de manera significativa ya que los residuos no tienen costo pues las empresas lo que quieren es deshacerse de ellos [7].

Un caso especial son los proyectos para la elaboración de ladrillos, los cuales se han desarrollado utilizando como sustituto de agregados muchos y muy variados materiales de deshecho [13]. Entre estos estudios, se puede observar que en general se enfocaron en medir la resistencia a la compresión, absorción, densidad y porosidad [24]. Los materiales utilizados son producto de industrias tan diferentes como las que procesan la cáscara de arroz, polvo de cantera y Kenaf en polvo [14] ó barros producto del pulido de loseta de porcelana, cenizas de carbón, cenizas de acerías y de incineradores para la producción de ladrillos [25].

Otros autores experimentaron con residuos de mármol y granito. Se pudo observar que la resistencia a la compresión; así como, su densidad y absorción son muy similares y cumplen el Código Egipcio de Construcciones [26]

Julio Roberto Betancourt Chávez, Liliana Guadalupe Lizárraga Mendiola, Rajeswari Narayanasamy, Francisco Javier Olguín Coca, Agustín Sáenz López. Revisión sobre el uso de residuos de mármol, para elaborar materiales para la construcción.

Con base en esta problemática, en México se han realizado algunas investigaciones para ubicar los "tiraderos" que existen en la región de la Comarca Lagunera en el norte de México [27]. También se realizó un experimento sustituyendo la arena con polvo de mármol en mezclas de concreto tradicional encontrando que la resistencia a la compresión es muy similar al concreto tradicional sustituyendo hasta un 30 % de arena por los residuos de mármol. Al realizar estas pruebas con cantidades mayores, se observa que es muy significativa una disminución en la resistencia a la compresión [28].

En Puebla, elaboraron un nuevo fertilizante orgánico con residuos de mármol y piedra pómez para las plantas y cultivos, el cual tendría un costo 50% más bajo con respecto a otros que están hechos con productos químicos. Los investigadores encontraron que la mezcla del mármol y piedra pómez ofrece mejores nutrientes que los tradicionales que son elaborados con productos químicos, con la desventaja de que al paso de los años contaminan los suelos de cultivo. Por otro lado, también desarrollaron un cemento a base de polvo de mármol, aditivo y PET (teftralato de polietileno) [29].

En otra investigación desarrollada en Gómez Palacio, Durango, se realizaron experimentos exploratorios para utilizar el polvo de mármol en ladrillos. En dicho estudio, se observó que en elementos tales como: cubos de 5x5 cm y cilindros 7.5x15 cm elaborados con polvo de mármol, arena y cemento Portland previamente comprimidos con varilla en su estado plástico, muestran un buen desempeño a la compresión [28]

En general, las principales afectaciones que producen los residuos de mármol son: la alteración de la topografía, ocupación de suelo, degradación de aguas superficiales y subterráneas, contaminación del aire y la contaminación visual [30].

Como se puede observar, las diversas investigaciones han encontrado resultados positivos para el uso de los residuos de mármol en distintos materiales. Además, se debe tomar en cuenta que, en general, tienen un impacto menos agresivo al medioambiente, ya que sus puntos rojos son la eficiencia en el uso de la energía, punto que puede mejorar si se realiza un estudio para hacer más eficientes los procesos. Las losetas de mármol tienen un ciclo de vida menos agresivo en comparación con otros materiales de uso similar como las losetas cerámicas, que emiten arsénico debido al proceso de cocción para la aplicación del esmalte [31].

USO DEL POLVO DE MÁRMOL EN LA ELABORACIÓN DE LADRILLO ESTRUCTURAL EN LA COMARCA LAGUNERA

El mármol que se utiliza en la Comarca Lagunera para la producción de laminados, procede principalmente de la zona productora conocida como la Laguna, particularmente el que se utiliza en la empresa Mármol Parra, quién aporta los residuos para el estudio que aquí se presenta. Este material proviene del banco conocido como "Sombretillo del Alto" el cual se ubica en la población del mismo nombre y pertenece al municipio General Simón Bolívar, Durango. Dicha población está situada a 1,280 metros de altitud sobre el nivel del mar, sus coordenadas geográficas son Longitud: 25° 05' 24", Latitud:-103° 19' 14" (INEGI 2014).

En el área de estudio, se encuentran establecidas 90 empresas (INEGI 2010), y se estima que producen 12,600 toneladas de residuos al mes³, de los cuales se considera que un 30 % es polvo de mármol y masilla. En la ciudad de Gómez Palacio, Durango existe una montaña "irregular" que es producto de los desechos de mármol (pedacero, masilla, polvo y piedras de gran tamaño) depositados por las empresas de la región en terrenos del ejido las Huertas (Figura 2) que ocupa

³ Cámara Nacional de la Industria de la Transformación de Gómez Palacio Durango.

Julio Roberto Betancourt Chávez, Liliana Guadalupe Lizárraga Mendiola, Rajeswari Narayanasamy, Francisco Javier Olgún Coca, Agustín Sáenz López. Revisión sobre el uso de residuos de mármol, para elaborar materiales para la construcción.

un área aproximada de 96 000 m² y representa un volumen de 240, 000 m³. Como se puede observar constituye un grave problema de contaminación ambiental.



Figura 2. Tiradero “irregular” Ejido las Huertas, Gómez Palacio Durango, México.

Con base en esta problemática, se realizaron algunas investigaciones para caracterizar los “tiraderos” que existen en la región [27]. También se realizó un proyecto de investigación en mezclas de concreto tradicional, sustituyendo la arena con polvo de mármol en varios porcentajes (0%, 10%, 20%, 30%,40%, 50%,60%,70%,80%). En dicho estudio se concluyó, que se puede sustituir hasta un 10% del polvo de mármol, sin afectar las propiedades mecánicas del concreto [28].

Tomando en cuenta, principalmente los problemas medioambientales que causan los residuos de mármol, se concibió la idea de elaborar un ladrillo que tenga como insumo principal al residuo de mármol (polvo), tomando como referencia de diseño los parámetros que indica la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012. Para este proyecto se utilizó cemento portland compuesto tipo I, agua potable, arena de río y polvo de mármol producto del corte y desbaste de placas de mármol.

El polvo de mármol, cuenta con las siguientes características físicas: peso volumétrico de 1,400 kg/m³, densidad 2.78. El tamaño de sus partículas se distribuye por debajo de la malla # 8, conteniendo partículas que pasan por la malla # 500 (menos del 1 %). Un análisis químico arrojó un 97 % de contenido de carbonato de calcio.

El proyecto, inició con experimentos exploratorios para observar el comportamiento de especímenes a la compresión, en elementos elaborados con distintas mezclas y formas (Figura 3).



Figura 3. Elementos posteriores al ensaye a compresión.

Julio Roberto Betancourt Chávez, Liliana Guadalupe Lizárraga Mendiola, Rajeswari Narayanasamy, Francisco Javier Olguín Coca, Agustín Sáenz López. Revisión sobre el uso de residuos de mármol, para elaborar materiales para la construcción.

En esta etapa del proyecto, se obtuvieron resultados alentadores para dar continuidad al proyecto (Ver Tabla 1).

Tabla 1.- Resistencia a la compresión, en elementos elaborados con base en residuos (polvo de mármol).

CUBOS DE 5x5x5 cm				
Mezcla	Cemento	Cal	Agua	Resistencia
#	%	%	%	kg/cm²
1	25	0	20	76.6
2	22.5	2.5	20	60
3	20	5	20	52

CILINDROS DE 7.5x15 cm				
Mezcla	Cemento	Cal	Agua	Resistencia
#	%	%	%	kg/cm²
1	25	0	20	67.9
2	22.5	2.5	20	56.24
3	20	5	20	48

Tabla 2.- Resistencia a la compresión de pastillas de 5x10 cm. con material base: polvo de mármol y arena, prensadas a 70 kg/cm².

Mezcla	Cemento	Arena	Agua	Resistencia
#	%	%	%	kg/cm²
1	8	0	20	28
2	10	20	20	76
3	10	30	20	90
3	10	30	20	89

Tal como se esperaba, dada la naturaleza de la mezcla, los elementos que tenían mayor cantidad de cemento, mostraron mejores resultados a la compresión. Es decir, el residuo de mármol tuvo un buen desempeño en la mezcla. Se puede ver también que la forma del elemento no influye significativamente en los resultados. Con respecto a los resultados de la Tabla 2, se observa que, al agregar arena y prensado, aumenta la resistencia a la compresión.

Los resultados obtenidos, dan la pauta para continuar experimentando con elementos que posean las medidas típicas para ladrillos en México. El objetivo ahora, es cumplir con los parámetros de la norma mexicana para ladrillo estructural NMX-C-404-ONNCCE-2012; por lo que se tomó la decisión de repetir el experimento posteriormente con las mezclas que mostraron un mejor desempeño.

Conclusiones:

La producción de mármol en el mundo es muy grande e importante para la economía de varios países, por lo que concebir la idea de eliminar sus residuos es prácticamente imposible. Es por esto que resulta relevante, poner en práctica los resultados de las diversas investigaciones, para minimizar el efecto negativo que producen los residuos y que afectan de manera importante el medioambiente y por consecuencia a la población expuesta, principalmente a la más vulnerable: niños y adultos mayores.

Los residuos de mármol (polvos y/o piedras), constituyen un problema que genera pérdidas económicas y de espacio en las marmolerías. Sin embargo, dichos residuos pueden ser utilizados como materia prima en la elaboración de ladrillos, bloques y concretos.

El proyecto que está por concluir en la Comarca Lagunera en México, se perfila como una opción más en la producción de ladrillo, con la ventaja de que al ser ladrillos prensados y que no pasan por un proceso de cocción; tendrán un impacto ecológico mucho menor, contribuyendo de alguna manera a revertir los efectos negativos que éstos residuos están provocando en la actualidad.

Bibliografía:

- 1) Belmonte A. Análisis de la reutilización de residuos procedentes de la industria Silestone en la fabricación de mezclas bituminosas. Tesis Doctoral, Universidad de Granada, España. 2009.
- 2) Codina S. Aprovechamiento de los residuos de mármol para la fabricación de materiales compuestos. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Linares, España. 2002.
- 3) Valdez P., Barragán B., Girbles I. et al. Uso de residuos de la industria del mármol como filler para la producción de hormigones auto-compactantes. *Materiales de Construcción* 61 (301). pp. 61-76. 2011.
- 4) Tayeb B., Abdekbaki B., Madani B., Mohamed L. Effect of marble powder on the properties self compacting sand concrete. *The Open Construction and Building Technology Journal* 5 pp. 25-29. 2011.
- 5) Topcu I.B., Bilir T., Uyguno lu T. Effect of waste marble dust content as filler on properties of self-compacting concrete. 2009.
- 6) Kavas T., Olguin A. Properties of cement and mortar incorporating marble dust and crushed brick. *Ceramics-Silikaty*. 52, pp. 24-28. 2008.
- 7) Aukour F.S. Feasibility study manufacturing concrete eco-blocks using marble sludge powder as raw materials. *Sustainable Development and Planning IV* 2 pp. 845-851. 2009.
- 8) Shalul H.M. & Sekar A.S.S. Properties of green concrete containing quarry rock dust and marble sludge powder as fine aggregate. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, pp.83-89. 2009.
- 9) Hebhouh, H., Aoun, H., Belachia, M., et al. Use of waste marble aggregates in concrete. *Construction and Building Materials* 25 (3) pp. 1167-1171. 2011.

Julio Roberto Betancourt Chávez, Lilita Guadalupe Lizárraga Mendiola, Rajeswari Narayanasamy, Francisco Javier Olguín Coca, Agustín Sáenz López. Revisión sobre el uso de residuos de mármol, para elaborar materiales para la construcción.

- 10) Hamed M.M., Ahmed I.M., Metwally S.S. Adsorptive removal of methylene blue as organic pollutant by marble dust as eco-friendly sorbent. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. XXX, 2013.
- 11) Ghazy S.E., Gad A.H.M. Lead separation by sorption onto powdered marble waste. *Arabian Journal of Chemistry*. XXX, 2010.
- 12) Gencil O., Ozel C., Koksall F., et al. Properties of concrete paving made with waste marble. *Journal of Cleaner Production*. 21 pp. 62-70, 2011.
- 13) Bilgin N., Yeprem H. A., Arslan S., et al. Use of waste marble powder in brick industry. *Construction and Building Materials* 29 pp. 449-457, 2012.
- 14) Kartini K., Norul E., Noor B., et al. Development of lightweight sand-cement bricks using quarry dust, rice husk and kenaf powder for sustainability, *International Journal of Civil & Environmental Engineering* 12 (6) pp. 1-7, 2012.
- 15) Kibert Ch. J., Sendzimir J., Guy B. Construction ecology and metabolism: natural system analogues for a sustainable built environment. *Construction Management and Economics* 18 (8) pp. 903-916, 2000.
- 16) McDonough W., Brungart M. *Cradle to cradle (de la cuna a la cuna)*. McGraw Hill. Madrid España. 2005.
- 17) Coordinación general de minería, Dirección general de promoción minera, Perfil de mercado del mármol, México. 2006 pp. 16-18.
- 18) Molina F. A. & Ramos C.J.J. Gestión ambiental de los residuos de piedra natural (caso del mármol). I Jornadas Técnicas de Ciencias Ambientales. Madrid, 03 a 14 Nov. 2003.
- 19) Alferes. Proyecto: Impacto en la salud de la contaminación ambiental, caso Comarca Lagunera. Subdirección sanitaria IV Torreón Coahuila, México. 2012.
- 20) Álvarez Rogel J. Proyecto: Regeneración de suelos contaminados por residuos mineros con residuos de la industria del mármol. Universidad Politécnica de Cartagena, Murcia España. 2011.
- 21) Torres M.S. Proyecto: Reutilización de lodos residuales de la industria del mármol, para la recuperación de ecosistemas degradados. Universidad de Almería, España. 2008.
- 22) Shelke V.M., Pawde P.Y., Shrivastava R.R. Effect of powder marble with and without silica fume in mechanical properties of concrete. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*. Vol. 1, 1, pp 40-45. 2012.
- 23) André, A.; De Brito J.; Rosa, A., et al. Durability performance of concrete incorporating coarse aggregates from marble industry waste. *Journal of Cleaner Production* XXX pp. 1-8, 2013.
- 24) Zhang L. Production of bricks from waste materials- A review. *Construction and Building Materials* 47 pp. 643-655, 2013.

Julio Roberto Betancourt Chávez, Liliana Guadalupe Lizárraga Mendiola, Rajeswari Narayanasamy, Francisco Javier Olguín Coca, Agustín Sáenz López. Revisión sobre el uso de residuos de mármol, para elaborar materiales para la construcción.

- 25) Andreola F., Barbieri I., Lancellotti J, Pozzi P. Reciclado de residuos industriales en la fabricación de ladrillos de construcción. 1ª Parte Construction and building Materials 55(280) pp. 5-16, 2005.
- 26) Hamza, R. A.; El-Haggar, S., y Khedr, S. Marble and Granite waste: Characterization and utilization in concrete bricks. American University of Cairo. 2011.
- 27) Rodríguez C.L. Caracterización de los sitios destinados a tiraderos de residuos de mármol en la Comarca Lagunera. Tesis licenciatura, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura, Universidad Juárez del Estado de Durango. Gómez Palacio Durango, México. 2011.
- 28) Santos A.C.P., Villegas N., Betancourt J.R. Residuos de mármol como insumo en la construcción civil-diagnóstico de la Comarca Lagunera. Revista de la Construcción, 11 (2) pp. 17-26, 2012.
- 29) Robles Casolco S. Proyecto: Cemento ecológico con desechos de mármol. Tecnológico de Monterrey, campus Puebla. México, 2011.
- 30) Çelik M. y Sabah E., Geological and technical characterisation of Iscehisar (Afyon-Turkey) marble deposits and the impact of marble waste on environmental pollution. Journal of Environmental Management 87 pp. 106-116, 2008.
- 31) Nicolletti G.M., Notarnicol B., Tassielli G. Comparative life cycle assessment of flooring materials: ceramic versus marble tile. Journal of Production Cleaner, Vol.10 pp. 283-296 2002.