



Revista de Arquitectura e Ingeniería
ISSN: 1990-8830
Olga-Toledo@empai.co.cu
Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería
de Matanzas
Cuba

Aplicación del polvo de mármol para fabricar ladrillo estructural con dimensiones tradicionales en la Comarca Lagunera utilizados en muros de vivienda.

Moreno Juárez, M.C.I. Armando Nicolás; Ponce Palafox, Dr. César; López Montelongo, Dra. Areli Magdiel; Cárdenas Díaz, Dr. Octavio Enrique

Aplicación del polvo de mármol para fabricar ladrillo estructural con dimensiones tradicionales en la Comarca Lagunera utilizados en muros de vivienda.

Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 14, núm. 1, 2020

Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas, Cuba

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193962633006>

Aplicación del polvo de mármol para fabricar ladrillo estructural con dimensiones tradicionales en la Comarca Lagunera utilizados en muros de vivienda.

Application of marble dust to make structural brick with traditional dimensions in the Comarca Lagunera used in residential walls.

M.C.I. Armando Nicolás Moreno Juárez
nicolas.moreno@uadec.edu.mx

Universidad Autónoma de Coahuila. Torreón, Coahuila, México., México

Dr. César Ponce Palafox cesarponce@uadec.edu.mx

Universidad Autónoma de Coahuila Torreón, Coahuila, México., México

Dra. Areli Magdiel López Montelongo
areli.lopez@uadec.ued.mx

Universidad Autónoma de Coahuila. Torreón, Coahuila, México, México

Dr. Octavio Enrique Cárdenas Díaz
ecardenas@uadec.edu.mx

Universidad Autónoma de Coahuila. Torreón, Coahuila, México., México

Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 14, núm. 1, 2020

Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas, Cuba

Recepción: 02 Septiembre 2019
Aprobación: 20 Febrero 2020

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193962633006>

Resumen: En el presente trabajo se aborda un análisis de Ladrillos fabricados a base de Polvo de Mármol (LM), se realizan ensayos para determinar si los LM cumplen con la norma NMX-C-404-2012-ONNCCE, donde establece la resistencia a compresión de un ladrillo estructural debe ser de 6.86 N/mm^2 (70 kg/cm^2)

El proceso experimental está basado en la investigación que realizó Salgado (2016) [1], quien concluyó que es posibles elaborar LM que funciones estructurales en muros de carga, menciona que no es necesario un proceso de curado debido a que no modifica la resistencia a compresión de las piezas de LM.

Los ensayos de las resistencias a compresión se realizan a 5 dosificaciones diferentes donde varía el tipo de arena, se analizan los componentes y se proponen nuevas dosificaciones en base a sus componentes químicos. Se determina la capacidad de carga y su composición química, en cada una de las dosificaciones estudiadas.

Palabras clave: Polvo de mármol, ladrillo, resistencia a la compresión.

Abstract: *In the present work, made it an analysis of Bricks to manufactured based on Marble Dust (LM), tests are carried out to determine if the LM comply with the NMX-C-404-2012-ONNCCE standard [9], where it establishes the compression resistance of a structural brick should be 6.86 N/mm^2 (70 kg/cm^2).*

The experimental process is based on the research carried out by Salgado (2016) [1], who concluded that it is possible to elaborate LM that structural functions in load-bearing walls, mentions that a curing process is not necessary because it does not modify the compression resistance of the pieces of LM.

The tests of the compression resistance are carried out at 5 different dosages where the type of sand varies, the components are analysed, and new dosages are proposed based on their chemical components. The capacity of charge and its chemical composition are determined in each of the dosages studied.

Keywords: Marble dust, brick, compression resistance.

INTRODUCCIÓN.

México tiene gran potencial de mármol como roca dimensionable. La producción del mármol reportada en 2014 fue de 3.5 millones de toneladas [2]. El proceso de producción del mármol cuenta con etapas de corte, pulido y acabado se producen del orden de 170 kg de residuo seco (polvo) por metro cúbico tratado, y este residuo es de alto grado de contaminación, tanto en el medio ambiente como en la salud [3]. Los depósitos de polvo de mármol en la mayoría de los casos no son los apropiados dado que no están regulados. El residuo, al secarse, se va dispersando con el viento, y el resto solo es un cúmulo de desechos que afecta directamente a la imagen urbana de la región [4]. Con la producción registrada en 2014 y considerando que el peso volumétrico del mármol es de 2.55 ton/m³, se tuvo una producción de 1.37 millones de m³, por lo tanto, se tuvo un desperdicio de 233,240 ton. que generan los problemas mencionados con anterioridad, además, el polvo de mármol se absorbe por el suelo, pudiendo alcanzar los mantos acuíferos y contaminar el agua que es extraída para el consumo humano. Dado la característica pétreo de origen del polvo de mármol es un material que se puede aplicar en la industria de la construcción.

De acuerdo con trabajo realizado por Nevárez & Rangel (2014) [5] elaboraron muestras con diversos bancos de polvo de mármol en la Comarca Lagunera, realizó diferentes dosificaciones variando el polvo de mármol, arena de río, agua y cemento gris, las muestras fueron ensayadas a compresión directa a 7, 14 y 28 días de curado en agua.

Salgado (2016) [1] elaboró ladrillos de 80x230x50 mm, y de acuerdo con sus resultados se encontró que los que presentan un mejor comportamiento son las dosificaciones de polvo de mármol (15.00 kg), cemento (1.91 kg), arena triturada (3.00 kg), cal (0.3375 kg) y agua (6.00 l) Y por lo tanto se toman esas como referencia.

En este estudio se propuso eliminar el uso de la cal en la dosificación debido a que su presencia influye en la resistencia a la compresión reduciendo significativamente la resistencia a la compresión del concreto cuando se adiciona 10 y 15% [6].

El objetivo principal de este estudio es desarrollar piezas de mampostería con dimensiones similares a la pieza de adobón (120 x 240 x 50 mm), las piezas tienen como agregado principal desecho de mármol en polvo. Se analizó la composición química del polvo de mármol de la región, se propusieron diferentes dosificaciones para fabricar ladrillos de polvo de mármol, se realizaron ensayos a compresión en las piezas realizadas con diferentes dosificaciones y se analizó el comportamiento a compresión del ladrillo de PM al 85%, con un 15% de cemento, sin cal, con diferentes tipos arena, por último, se determinó la composición química de los ladrillos en las diferentes dosificaciones. Las piezas de mampostería se sometieron a pruebas de resistencia a la compresión y rayos X.

MÉTODOS Y MATERIALES.

En el estudio realizado por Chávez, Mendiola, Narayanasamy, Cocar & López (2015) [7], elaboraron un ladrillo con cemento portland compuesto tipo I, agua potable, arena de río y polvo de mármol producto del corte y desbaste del mármol. Los elementos que tenían mayor cantidad de cemento mostraron mejores resultados a la compresión, como se observa en la Tabla 1

Mezcla	Cemento	Cal	Agua	Resistencia a la compresión
#	%	%	%	N/mm ²
1	25	0	20	77.59
2	22.5	2.5	20	5.88
3	20	5	20	5.10

Tabla 1

Resistencia a la compresión, en elementos elaborados con base de polvo de mármol.
(Chávez, Mendiola, Narayanasamy, Cocar, & López, 2015) Cubos de 50 x 50 x 50 mm

Otro estudio experimental realizado para elaborar ladrillos con residuos de mármol (polvo) de Marmolera Parra, realizado por Nevárez, C & Rangel, (2014) [5], se muestran en la Tabla 2 donde se presentan las dosificaciones que aprobaron el ensaye de resistencia a la compresión. Así mismo, en la Tabla 3 se muestra el resultado de la dosificación de ladrillos a 7, 14 y 28 días de vida con un 15% de cemento.

Componente	Mezcla a 12% de cemento	Mezcla a 15% de cemento
Polvo de mármol	10 kg	10 kg
Cemento	1.2 kg	1.5 kg
Arena	2 kg	2 kg
Agua	2 l	2 l

Tabla 2

Dosificaciones que aprobaron el ensaye de resistencia a la compresión.
(Nevarez & Rangel, 2014)

Tabla 3 Resultado de resistencia a la compresión en ladrillos a 7, 14 o 28 días de curado con un 15% cemento. (Nevarez & Rangel, 2014)

Muestra No.	7 días de curado (N/mm ²)	14 días de curado (N/mm ²)	28 días de curado (N/mm ²)
1	12.03	8.74	8.83
2	13.58	Testigo	Testigo
3	13.79	11.70	Testigo
4	13.39	86.05	8.58
5	14.15	Testigo	8.63
6	12.74	8.44	8.72
7	10.76	8.63	8.61
8	14.70	8.51	8.69
9	12.84	8.49	8.45
10	9.85	8.61	8.45

Tabla 3 Resultado de resistencia a la compresión en ladrillos a 7, 14 o 28 días de curado con un 15% cemento. (Nevarez & Rangel, 2014)

Tabla 3

Resultado de resistencia a la compresión en ladrillos a 7, 14 o 28 días de curado con un 15% cemento.

(Nevarez & Rangel, 2014)

Cabe mencionar que las piezas fabricadas fueron curadas de manera tradicional saturados en agua. Además de que durante el proceso de llenado de los moldes se les aplicó una precarga de 9.81 N/mm² durante un minuto, pero Nevarez & Rangel (2014) [5] no explican el proceso de precarga.

La tabla 4 muestra los resultados de resistencia a la compresión con 12% cemento.

Muestra No.	Resistencia a la compresión (N/mm ²)
7 días	10.49
14 días	10.50
28 días	9.37

Tabla 4 Resultados de resistencia a la compresión 12% cemento. (Nevarez & Rangel, 2014)

Tabla 4

Resultados de resistencia a la compresión 12% cemento.

(Nevarez & Rangel, 2014)

Para obtener la resistencia a compresión de las muestras se utilizó una precarga de 9.81 N/mm² durante un minuto a la mezcla una vez lleno el molde, posteriormente se desmolda el ladrillo y se deja secar durante 24 horas a temperatura ambiente. Nevarez & Rangel (2014) [5] no explican el proceso de precarga.

En la tesis Propuesta de Sistema Constructivos de Muros de Mampostería para Viviendas a Base de Ladrillo Fabricado con Residuos de Mármol en la Comarca Lagunera de Salgado (2014) [1] concluye que la dosificación que aprobó los ensayos de resistencia a compresión en ladrillos de 80x230x50 mm fue la que contenía 15% cemento como se muestra en la tabla 5.

Material	Cantidad
Polvo de mármol	15.00 kg
Cemento	1.91 kg (15%)
Arena triturada	3.00 kg
Cal	0.3375 kg (15%)
Agua	6.00 l

Tabla 5 Dosificaciones que aprobaron el ensaye de resistencia a la compresión. (Salgado, 2016).

Tabla 5

Dosificaciones que aprobaron el ensaye de resistencia a la compresión.
(Salgado, 2016).

La tabla 6 muestra los resultados de los ensayos a compresión de los ladrillos a 7, 14 o 28 días de vida con la dosificación de 15% cemento y sustitución por 15% de Cal. Arena triturada. Sin curado. [1]

Tabla 6 Resultado de dosificación de ladrillos a 7, 14 o 28 días ,15% cemento y sustitución por 15% de Cal. Arena triturada. Sin curado. (Salgado, 2016)

Muestra No.	Resistencia (N/mm ²) 7 días	Resistencia (N/mm ²) 14 días	Resistencia (N/mm ²) 28 días
1	2.25		
2	3.04		
3	2.79		
4		3.33	
5		3.10	
6		3.13	
7			4.58
8			3.43
9			3.91

Tabla 6 Resultado de dosificación de ladrillos a 7, 14 o 28 días ,15% cemento y sustitución por 15% de Cal. Arena triturada. Sin curado. (Salgado, 2016)

Tabla 6

Resultado de dosificación de ladrillos a 7, 14 o 28 días ,15% cemento y sustitución por 15% de Cal. Arena triturada. Sin curado.
(Salgado, 2016)

Los ladrillos no se sometieron a curado, ni durante el proceso de llenado del molde se aplicó una precarga.

Marco legal.

Las normas que se aplican en este trabajo son las normas mexicanas NMX ligadas a la elaboración de ladrillos estructurales y no estructurales:

NMX-C-404-ONNCCE-2012: “Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural”

Según esta norma, por sus medidas 120 x 240 x 50 mm el ladrillo estudiado se le debe llamar tabique pues su longitud es menor a 400 mm. También se indica que por ser pieza sólida debe tener una resistencia a la compresión de 6.86 N/mm² (70 kg/cm²) individualmente y de 10.78 N/mm² (110 kg/cm²) en promedio por lote. [8]

NMX-C-441-ONNCE-2013. “Piezas para uso NO estructural”. Los valores aceptados en ensayos a compresión son de 3.14 N/mm² (32 kg/cm²) individual y 3.92 N/mm² (40 kg/cm²) en promedio por lote. [8]

Para este estudio también se omite el uso de la cal dado que en estudios realizados esta reduce considerablemente la resistencia a la compresión de los ladrillos. [6].

La máquina de ensayo a compresión debe tener una capacidad suficiente y mantener una velocidad de aplicación de la carga especificada

sin producir impactos y pérdidas de carga. Como el área de aplicación de la carga no es suficiente para cubrir el área que se va a cargar, se colocan placas de acero de ½ pulgada de espesor (13 mm) entre los ladrillos y el área de aplicación de la carga de a máquina de ensayo. Los ladrillos que se ensayan no se cabecearon con mortero de azufre si no que se utilizan placas de neopreno de ½ pulgada de espesor (13 mm) entre las placas de acero y el ladrillo ensayado.

Fig.1 LM en prensa hidráulica para ensaye a compresión. Elaboración propia del autor.

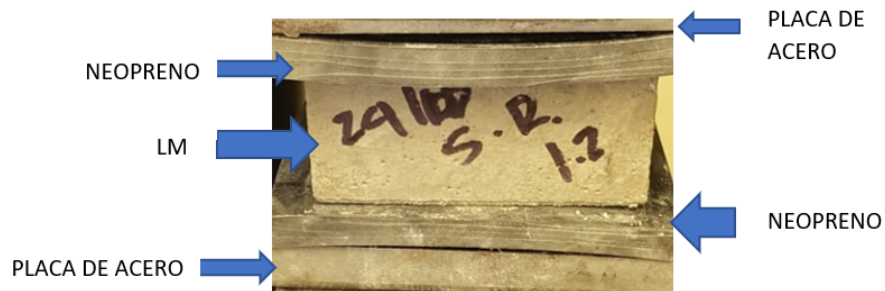


Fig 1
LM en prensa hidráulica para ensaye a compresión.
Elaboración propia del autor

Se registran las medidas de las piezas (ancho, largo, alto), se someterán a un proceso de secado de 7, 14 y 28 días. La prensa hidráulica aplicará una carga uniforme de la cual se obtendrá la resistencia a la compresión. Las piezas de LM no deberán contener fisuras ni fallas antes del ensaye y con sus perfiles paralelos.

Para calcular el esfuerzo a la compresión se divide la carga bruta entre el área de la cara de la pieza sometida a presión en el ensayo.

$$F_p = \frac{P}{A}$$

Fig 2
Pieza sometida a presión en el ensayo.
Elaboración propia del autor.

Dónde:

F_p = Es el esfuerzo resistente a la compresión (N/mm^2)

P = Carga máxima (N)

A = Área bruta transversal de la pieza (mm^2)

Se realizaron pruebas con el uso de un equipo rayos X se desglosó la composición química de cada de los materiales que se emplearán en las dosificaciones para elaborar los LM, con los resultados de los componentes químicos, se puede observar la presencia de dióxido de

silicio (SiO₂) y de Alúmina (Al₂O₃); los cuales son los componentes más importantes en la constitución de los materiales confiriéndoles resistencia.

En la Tabla 7 se presentan los componentes químicos del polvo de mármol, mientras que en la Tabla 8 se muestran los componentes químicos del cemento Portland tipo I. Así mismo, en las tablas 9, 10 y 11 se presentan los componentes químicos de las arenas utilizadas en los ensayos.

Tabla 7 Componentes químicos del POLVO DE MÁRMOL. Elaboración propia del autor

<u>Compound</u>	<u>m/m%</u>	<u>StdErr</u>	<u>EI</u>	<u>m/m%</u>	<u>StdErr</u>
CaO	51.95	0.25	Ca	37.15	0.18
SiO₂	2.77	0.08	Si	1.29	0.04
MgO	1.35	0.06	Mg	0.813	0.035
Al₂O₃	0.643	0.032	Al	0.340	0.017
Fe ₂ O ₃	0.372	0.019	Fe	0.260	0.013

Tabla 7 Componentes químicos del POLVO DE MÁRMOL

Tabla 7
Componentes químicos del POLVO DE MÁRMOL.
Elaboración propia del autor

<u>Compound</u>	<u>m/m%</u>	<u>StdErr</u>	<u>EI</u>	<u>m/m%</u>	<u>StdErr</u>
CaO	43.59	0.25	Ca	31.17	0.18
SiO₂	11.76	0.16	Si	5.50	0.08
Al₂O₃	3.17	0.09	Al	1.68	0.05
SO ₃	2.03	0.07	<u>Sx</u>	0.814	0.028
Fe ₂ O ₃	1.46	0.06	Fe	1.02	0.04

Tabla 8 Componentes químicos del CEMENTO PORTLAND COMPUESTO TIPO I

Tabla 8
Componentes químicos del CEMENTO PORTLAND COMPUESTO TIPO I
Elaboración propia del autor

<u>Compound</u>	<u>m/m%</u>	<u>StdErr</u>	<u>EI</u>	<u>m/m%</u>	<u>StdErr</u>
CaO	55.19	0.25	Ca	39.46	0.18
SiO₂	0.547	0.027	Si	0.256	0.013
MgO	0.312	0.016	Mg	0.188	0.009
Al₂O₃	0.146	0.007	Al	0.0772	0.0039
Fe ₂ O ₃	0.0361	0.0018	Fe	0.0252	0.0013

Tabla 9 Componentes químicos de ARENA TRITURADA.

Tabla 9
Componentes químicos de ARENA TRITURADA.
Elaboración propia del autor.

<u>Compound</u>	<u>m/m%</u>	<u>StdErr</u>	<u>EI</u>	<u>m/m%</u>	<u>StdErr</u>
SiO ₂	70.67	0.23	Si	33.04	0.11
Al ₂ O ₃	12.99	0.17	Al	6.88	0.09
CaO	3.85	0.10	Ca	2.75	0.07
K ₂ O	3.21	0.09	K	2.67	0.07
Na ₂ O	2.41	0.08	Na	1.79	0.06

Tabla 10 Componentes químicos de ARENA DE RÍO

Tabla 10
Componentes químicos de ARENA DE RÍO.

Elaboración propia del autor.

<u>Compound</u>	<u>m/m%</u>	<u>StdErr</u>	<u>EI</u>	<u>m/m%</u>	<u>StdErr</u>
SiO ₂	95.95	0.10	Si	44.86	0.05
CaO	1.55	0.06	Ca	1.11	0.04
Al ₂ O ₃	0.627	0.031	Al	0.332	0.017
MgO	0.126	0.006	Mg	0.0759	0.0038
Fe ₂ O ₃	0.107	0.005	Fe	0.0749	0.0037

Tabla 11 Componentes químicos de ARENA SÍLICA

Tabla 11
Componentes químicos de ARENA SÍLICA.

Elaboración propia del autor.

Para calcular el esfuerzo a la compresión se divide la carga bruta entre el área de la cara de la pieza sometida a presión en el ensayo.

RESULTADOS

Se realizan mezclas con arena de río por su alto contenido de dióxido de silicio (SiO₂) y de Alúmina (Al₂O₃), se realiza una segunda muestra con arena triturada, y se propone el uso de arena sílica al 100% en la dosificación, así como la sustitución parcial con arena de río al 66% y 33%.

Ladrillo Polvo de Mármol y Arena de Río (LM AR)

La Tabla 12 muestra la dosificación de LM con Arena de Río.

Material	Cantidad
Polvo de Mármol	15 kg
Cemento	2.25 kg
Arena de Río	3 kg
Agua	7 l

Tabla 12 Dosificación de LM con Arena de Río

Tabla 12
Dosificación de LM con Arena de Río.

Elaboración propia del autor.

Las tablas 13, 14 y 15 observan los resultados resistencia a compresión de las muestras AR Arena de Río a 18, 28 días de edad, y sumergidas en agua a 25 hora a 28 días de edad.

Muestras de Ensaye	Días de vida	Área (mm ²)	Carga Grieta (N)	Resistencia a la grieta (N/mm ²)	Carga a los 5 min (N)	Resistencia a los 5 min (N/mm ²)
Ladrillo AR 1.1	18	29254	16671.30	0.57	30979.21	1.06
Ladrillo AR 1.2	18	29234	16671.30	0.57	28488.32	0.97
Ladrillo AR 1.3	18	28281	18279.60	0.65	29263.04	1.03
Promedio	18	28923	17207.40	0.60	29576.86	1.02

Tabla 13 Resultados resistencia a compresión de AR Arena de Río a 18 días de edad.

Tabla 13

Resultados resistencia a compresión de AR Arena de Río a 18 días de edad.

Elaboración propia del autor

Tabla 14 Resultados resistencia compresión AR Arena de río a 28 días edad y curado 25 horas. Elaboración propia del autor.

Muestras de Ensaye	Días de vida	Área (mm ²)	Espesor Promedio (mm)	Carga Final (N)	Resistencia a la grieta (N/mm ²)	Espesor Final (mm)	Diferencia de espesor (mm)
Ladrillo AR 2.1	28	29373	54.43	11497 3.17	3.91	32.94	21.48
Ladrillo AR 2.2	28	29316	53.90	10397 9.91	3.55	36.17	17.73
Ladrillo AR 2.3	28	28550	52.85	11070 7.27	3.88	39.54	13.31
Promedio	28	29079.6 7	53.73	10988 6.78	3.78	36.22	17.51

Tabla 14 Resultados resistencia compresión AR Arena de río a 28 días edad y curado 25 horas.

Tabla 14

Resultados resistencia compresión AR Arena de río a 28 días edad y curado 25 horas.

Elaboración propia del autor

Muestras de Ensaye	Días de vida	Área (mm ²)	Espesor (mm)	Carga Final (N)	Resistencia la compresión (N/mm ²)	Espesor Final (mm)	Diferencia espesor (mm)
Ladrillo AR 3.1	28	29688	56.45	116503.0 0	3.92	31.80	24.65
Ladrillo AR 3.2	28	29524	54.73	119346.9 3	4.04	33.70	21.03
Ladrillo AR 3.3	28	29150	53.15	48219.30	1.65	31.60	21.55
Promedio	28	29454	54.78	94689.43	3.21	32.37	22.41

Tabla 15 Resultados de resistencia a compresión de las muestras AR Arena de río a 28 días de edad

Tabla 15

Resultados de resistencia a compresión de las muestras AR Arena de río a 28 días de edad

Elaboración propia del autor.

Como las muestras a los 28 días contienen humedad se decide someter una pieza a secado en horno durante 24 horas a 30°C (temperatura ambiente)

La siguiente tabla muestra los resultados de la prueba a compresión de LM AR con secado a 30°C durante 24 hrs.

Tabla 16 Resultados de la prueba a compresión de LM AR con secado a 30°C durante 24 hrs. Elaboración propia del autor.

Muestras de Ensaye	Días de Vida	Área (mm ²)	Carga final (N)	Resistencia (N/mm ²)
Ladrillo AR	30	10548	8678.89	0.823

Tabla 16 Resultados de la prueba a compresión de LM AR con secado a 30°C durante 24 hrs.

Tabla16

Resultados de la prueba a compresión de LM AR con secado a 30°C durante 24 hrs.

Elaboración propia del autor.

En la tabla 17 se muestra la composición química de LM AR.

Tabla 17 Composición química de LM AR. Elaboración propia del autor.

Compound	m/m%	StdErr	El	m/m%	StdErr
CaO	46.45	0.25	Ca	33.36	0.18
SiO ₂	10.27	0.15	Si	4.80	0.07
Al ₂ O ₃	2.07	0.07	Al	1.10	0.04
MgO	1.03	0.05	Mg	0.619	0.030
Fe ₂ O ₃	0.625	0.031	Fe	0.437	0.022

Tabla 17 Composición química de LM AR

Tabla17

Composición química de LM AR.

Elaboración propia del autor.

Ladrillo de Polvo de Mármol y Arena Triturada (LM AT)

La siguiente mezcla se realiza tomando como base la dosificación de LM con Arena de Río, pero se sustituye al 100% la arena de río por arena triturada.

En las tablas 18 y 19 se indican los resultados de las pruebas a compresión de las muestras LM AT con una edad de 15 y 28 días de su elaboración respectivamente.

Tabla 18 Resultados de las pruebas a compresión de muestras LM AT con 15 días de elaboración. Elaboración propia del autor.

Muestras de Ensaye	Días de vida	Área (mm ²)	Carga Grieta (N)	Resistencia a la grieta (N/mm ²)
Ladrillo AT 1.1	15	29254	29655.31	1.01
Ladrillo AT 1.2	15	29234	29831.83	1.02
Ladrillo AT 1.3	15	28281	33038.60	1.17
Promedio	15	28923	30841.91	1.07

Tabla 18 Resultados de las pruebas a compresión de muestras LM AT con 15 días de elaboración.

Tabla 18

Resultados de las pruebas a compresión de muestras LM AT con 15 días de elaboración.

Elaboración propia del autor.

Tabla 19 Resultados a compresión de las muestras AT sometidas a carga máxima. Elaboración propia del autor.

Muestras de Ensaye	Días de vida	Área (mm ²)	Espesor (mm)	Carga Final (N)	Resistencia (N/mm ²)	Espesor Final (mm)	Diferencia de espesor (mm)
Ladrillo AT 2.1	28	28362	53.58	163839.70	5.78	36.93	16.65
Ladrillo AT 2.2	28	29534	53.68	161799.92	5.48	33.88	19.80
Ladrillo AT 2.3	28	29158	54.60	152140.37	5.22	34.73	19.88
Promedio	28	29018	53.95	159259.99	5.49	35.18	18.77

Tabla 19 Resultados a compresión de las muestras AT sometidas a carga máxima

Tabla 19

Resultados a compresión de las muestras AT sometidas a carga máxima.

Elaboración propia del autor.

La tabla 20 muestra los resultados de las muestras LM AT previamente sometidos a secado en horno a 30°C pARn lapso de 24 hrs. Elaboración propia del autor.

Tabla 20 Resultados de las muestras LM AT previamente sometidos a secado en horno a 30°C por lapso de 24 hrs. Elaboración propia del autor.

Muestras de Ensaye	Días de vida	Área (mm ²)	Carga Final (N)	Resistencia (N/mm ²)	Espesor Final (mm)	Diferencia de espesor (mm)
Ladrillo AT 3.1	29	29631	224336.93	7.57	36.40	16.90
Ladrillo AT 3.3	29	29210	137587.30	4.71	29.60	21.55
Ladrillo AT <u>AT</u>	29	29203	114865.29	3.93	30.40	22.30
Promedio	29	29348	158929.84	5.40	32.13	20.25

Tabla 20 Resultados de las muestras LM AT previamente sometidos a secado en horno a 30°C por lapso de 24 hrs.

Tabla 20

Resultados de las muestras LM AT previamente sometidos a secado en horno a 30°C por lapso de 24 hrs.

Elaboración propia del autor.

La siguiente tabla presenta los componentes químicos de LM AT.

Tabla 21 Componentes químicos de LM AT. Elaboración propia del autor.

<u>Compound</u>	<u>m/m%</u>	<u>StdErr</u>	<u>EI</u>	<u>m/m%</u>	<u>StdErr</u>
<u>CaO</u>	48.43	0.25	Ca	34.63	0.18
<u>SiO₂</u>	8.56	0.14	Si	4.00	0.07
MgO	1.16	0.05	Mg	0.701	0.032
<u>Al₂O₃</u>	1,08	0.05	Al	0.573	0.027
Fe ₂ O ₃	0.544	0.027	Fe	0.380	0.019

Tabla 21 Componentes químicos de LM AT

Tabla 21

Componentes químicos de LM AT.

Elaboración propia del autor.

Ladrillo de Polvo de Mármol y Arena Sílica (LM S)

La siguiente mezcla se realiza tomando como base la dosificación de LM con Arena de Río, pero se sustituye al 100% la arena de río por arena sílica.

Las tablas 22 y 23 muestran los resultados de ensayos a compresión a las muestras LM S con 8y 28 días de vida respectivamente.

Tabla 22 Resultados de ensayos a compresión (5 minutos) a las muestras LM S con 8 días de vida. Elaboración propia del autor.

Muestras de Ensaye	Días de vida	Area (mm ²)	Carga a los 5 min (N)	Resistencia a los 5 min (N/mm ²)
Ladrillo S 1.1	8	29005	23722.29	0.82
Ladrillo S 1.2	8	28440	7080.40	0.25
Ladrillo S 1.3	8	28783	33607.39	1.17
Promedio	8	28742.67	21470.03	0.75

Tabla 22 Resultados de ensayos a compresión (5 minutos) a las muestras LM S con 8 días de vida

Tabla 22

Resultados de ensayos a compresión (5 minutos) a las muestras LM S con 8 días de vida.

Elaboración propia del autor.

Tabla 23 Resultados ensayos compresión carga máxima de muestras LM S con 28 días de vida. Elaboración propia del autor.

Muestras de Ensaye	Días de vida	Area (mm ²)	Espesor Promedio (mm)	Carga Final (N)	Resistencia (kg/cm ²)	Espesor Final (mm)	Diferencia espesor (mm)
Ladrillo S muestra 3.1	28	28988	53.10	128486.73	4.43	33.60	19.50
Ladrillo S muestra 3.2	28	28622	51.95	26173.95	0.91	35.10	16.85
Ladrillo S muestra 3.3	28	28720	52.80	102057.81	3.55	33.60	19.20
Promedio	28	28776.67	52.62	85752.83	2.98	34.10	18.52

Tabla 23 Resultados ensayos compresión carga máxima de muestras LM S con 28 días de vida.

Tabla 23

Resultados ensayos compresión carga máxima de muestras LM S con 28 días de vida.

Elaboración propia del autor.

La siguiente tabla muestras los componentes químicos de LM S.

Tabla 24 Componentes químicos de LM S. Elaboración propia del autor.

Compound	m/m%	StdErr	El	m/m%	StdErr
CaO	46.15	0.25	Ca	32.99	0.18
SiO ₂	12.97	0.17	Si	6.06	0.08
MgO	1.17	0.05	Mg	0.704	0.032
Al ₂ O ₃	0.939	0.047	Al	0.497	0.025
Fe ₂ O ₃	0.482	0.024	Fe	0.337	0.017

Tabla 24 Componentes químicos de LM S

Tabla 24

Componentes químicos de LM S.

Elaboración propia del autor.

Ladrillo de Polvo de Mármol y Arena Sílica al 66% y Arena de Río al 33% (LM SR)

La siguiente mezcla se realiza tomando como base la dosificación de LM con Arena de Río, pero se sustituye el 66% de la arena de río por arena sílica.

Las tablas 25, 26 y 27 muestran los resultados de los ensayos a compresión a LM SR con 8, 14 y 28 días de vida respectivamente.

Muestras de Ensaye	Días de vida	Área (mm ²)	Carga a los 5 min (N)	Resistencia a los 5 min (N/mm ²)
Ladrillo SR (66S / 33R) 1.1	8	18942	18348.24	0.97
Ladrillo SR (66S / 33R) 1.2	8	28423	24967.73	0.88
Ladrillo SR (66S / 33R) 1.3	8	21527	13229.17	0.61
Promedio	8	22964	18848.38	0.82

Tabla 25 Resultados de los ensayos a compresión con una duración de 5 minutos a LM SR con 8 días de vida.

Tabla 25

Resultados de los ensayos a compresión con una duración de 5 minutos a LM SR con 8 días de vida.

Elaboración propia del autor.

Muestras de Ensaye	Días de vida	Área (mm ²)	Carga Final (N)	Resistencia (N/mm ²)
Ladrillo SR (66S / 33R) 2.1	14.00	26810	104303.53	3.89
Ladrillo SR (66S / 33R) 2.2	14.00	26814	106186.41	3.96
Ladrillo SR (66S / 33R) 2.3	14.00	14149	29263.04	2.07
Promedio	14.00	22591	79917.66	3.31

Tabla 26 Resultados de los ensayos a compresión a los LM SR a 14 días de vida aplicando carga final.

Tabla 26

Resultados de los ensayos a compresión a los LM SR a 14 días de vida aplicando carga final.

Elaboración propia del autor.

Muestras de Ensaye	Días de vida	Área (mm ²)	Espesor Promedio (mm)	Carga Final (N)	Resistencia (N/mm ²)	Espesor Final (mm)	Diferencia de espesor (mm)
Ladrillo SR (66S / 33R) 3.1	28	28960	48.88	49817.78	1.72	0.00	48.88
Ladrillo SR (66S / 33R) 3.2	28	28812	49.78	22976.98	0.80	0.00	49.78
Ladrillo SR (66S / 33R) 3.3	28	18868	51.28	16681.11	0.88	0.00	51.28
Promedio	28	25546.67	49.98	29825.29	1.13	0.00	49.98

Tabla 27 Resultados de los ensayos a compresión a los LM SR a 28 días de vida aplicando carga final.

Tabla 27

Resultados de los ensayos a compresión a los LM SR a 28 días de vida aplicando carga final.

Elaboración propia del autor.

La siguiente tabla muestra los componentes químicos del LM SR.

<u>Compound</u>	<u>m/m%</u>	<u>StdErr</u>	<u>EI</u>	<u>m/m%</u>	<u>StdErr</u>
CaO	46.62	0.25	Ca	33.33	0.18
SiO ₂	10.80	0.16	Si	5.05	0.7
Al ₂ O ₃	1.41	0.06	Al	0.745	0.031
MgO	1.32	0.06	Mg	0.794	0.034
Fe ₂ O ₃	0.688	0.034	Fe	0.481	0.024

Tabla 28 Componentes químicos del LM SR

Tabla 28

Componentes químicos del LM SR.

Elaboración propia del autor

Ladrillo de Polvo de Mármol y Arena de Río al 66% y Arena Sílica al 33% (LM RS)

La siguiente mezcla se realiza tomando como base la dosificación de LM con Arena de Río, pero se sustituye el 33% la arena de río por arena sílica.

Las tablas 29,30 y 31 muestran los resultados de los ensayos a compresión a los LM RS a 7, 14 y 28 días de vida respectivamente.

Muestras de Ensaye	Días de vida	Área (mm ²)	Carga a los 5 min (N)	Resistencia a los 5 min (N/mm ²)
Ladrillo RS (66R / 33S) 1.1	7	28322	22084.58	0.78
Ladrillo RS (66R / 33S) 1.2	7	28680	26105.30	0.91
Ladrillo RS (66R / 33S) 1.3	7	28943	25301.16	0.87
Promedio	7	28648.33	24497.01	0.85

Tabla 29 Resultados de los ensayos a compresión a los LM RS a 7 días de vida y aplicando carga en un lapso de 5 minutos.

Tabla 29

Resultados de los ensayos a compresión a los LM RS a 7 días de vida y aplicando carga en un lapso de 5 minutos.

Elaboración propia del autor.

Muestras de Ensaye	Días de vida	Área (mm ²)	Espesor Promedio (mm)	Carga Final (N)	Resistencia a la grieta (N/mm ²)	Espesor Final (mm)	Diferencia de espesor (mm)
Ladrillo RS (66R / 33S) 2.1	14	28421	51.88	100920.24	3.55	33.95	17.93
Ladrillo RS (66R / 33S) 2.2	14	28723	50.98	106617.90	3.71	35.52	15.46
Ladrillo RS (66R / 33S) 2.3	14	28566	49.40	93172.99	3.26	32.20	17.20
Promedio	14	28570	50.75	100237.04	3.51	33.89	16.86

Tabla 30 Resultados de los ensayos a compresión de LM RS a 14 días de vida y aplicando carga máxima.

Tabla 30

Resultados de los ensayos a compresión de LM RS a 14 días de vida y aplicando carga máxima.

Elaboración propia del autor.

Muestras de Ensaye	Días de vida	Área (mm ²)	Espesor Promedio (mm)	Carga Final (N)	Resistencia a la grieta (N/mm ²)	Espesor Final (mm)	Diferencia de espesor (mm)
Ladrillo RS (66R / 33S) 3.1	28	28896	49.13	23683.06	0.82	0.00	49.13
Ladrillo RS (66R / 33S) 3.2	28	28604	49.38	35490.27	1.24	0.00	49.38
Ladrillo RS (66R / 33S) 3.3	28	28732	51.73	20731.26	0.72	0.00	51.73
Promedio	28	28744	50.08	26634.86	0.93	0.00	50.08

Tabla 31 Resultados de las pruebas de resistencia a la compresión de las muestras LM SR a 28 días de vida y aplicando carga máxima.

Tabla 31

Resultados de las pruebas de resistencia a la compresión de las muestras LM SR a 28 días de vida y aplicando carga máxima.

Elaboración propia del autor.

La tabla 32 muestra los componentes químicos de la mezcla para fabricación de LM RS.

Ladrillo

DISCUSIÓN.

De los resultados obtenidos por los ensayos de resistencia a la compresión, se determina que todas las piezas que presentaron humedad, tuvieron un comportamiento que podremos separar en dos partes; la primera, en la que las caras exteriores de las piezas de LM en cualquiera de las opciones de dosificación no presentaban humedad y por lo tanto al aplicar carga se fracturaban en promedio a los 2 minutos de aplicación de carga, obteniéndose resultado de cargas muy bajas, esto debido a que el espesor de las partes secas oscilaba a partir de los 2mm a los 7 días de vida de las piezas. La segunda es que una vez que se fracturaban las caras secas de los LM, la parte interior del LM conserva humedad y se comprime, lo que genera que la resistencia a la compresión aumente considerablemente, llegándose a reportar hasta los 7.57 N/mm², además, se comprimieron cambiando de espesor de 50 mm perdiéndose hasta el 40% de la altura del LM. Las muestras LM SR y LM RS, presentaron ausencia de humedad a los 28 días de vida. El comportamiento de las piezas de LM que presentaron ausencia de humedad, al momento del ensaye de resistencia a compresión, se fracturaron y no presentaron deformación alguna en su espesor. Por lo tanto, solo se tomarán en cuenta para esta investigación los resultados de las muestras que presentaron ausencia de humedad.

LM	Promedio de resistencia a la compresión (N/mm ²)
AR	0.823
AT	Presenta humedad
S	Presenta humedad
SR	0.84
RS	0.93

Tabla 33 Promedio de resistencia a la compresión presentada por LM en diferentes dosificaciones sin presencia de humedad.

Tabla 33

Promedio de resistencia a la compresión presentada por LM en diferentes dosificaciones sin presencia de humedad.

Elaboración propia del autor.

Con los resultados de los componentes químicos de los LM AR, LM AT, LM S, LM SR y LM RS se puede observar la presencia de dióxido de silicio (SiO₂) y de Alúmina (Al₂O₃); los cuales son los componentes más importantes en la constitución de los materiales confiriéndoles resistencia.

LM	SiO ₂	Al ₂ O ₃
AR	10.27	2.07
AT	8.56	1,08
S	12.97	0.939
SR	10.80	1.41
RS	12.36	2.25

Tabla 34 Porcentaje de masa-masa de dióxido de silicio y alúmina en los LM.

Tabla 34

Porcentaje de masa-masa de dióxido de silicio y alúmina en los LM.

Elaboración propia del autor.

e realiza un análisis de áreas tributarias (8.80 m²) para determinar la carga recibida por cada LM y saber si los datos que se obtuvieron en los ensayos de resistencia a la compresión son factibles su uso, que se deberán multiplicar por la carga viva determinada por el reglamento de construcción para azoteas, para este caso es de 100 kg/m².

$$(8.80 \text{ m}^2) (100 \text{ kg/cm}^2) = 880.00 \text{ kg}$$

La carga obtenida se divide entre la longitud del muro que recibe el área tributaria.

$$(880.00 \text{ kg}) / (8.80 \text{ m}) = 100.00 \text{ kg/m}$$

La carga que recibe el muro se multiplica por la longitud de cada ladrillo para conocer la carga viva aplicada al LM.

$$(100 \text{ kg/m}) (0.24 \text{ m}) = 24.00 \text{ kg}$$

Se procede a calcular el peso de la losa, que para este caso la consideramos sólida de concreto armado con un espesor de 10 cm, por lo tanto, se tiene un volumen de losa de 0.88 m³, y se considera 2,400 kg/m³ el peso volumétrico del concreto armado.

$$(2,400.00 \text{ kg/m}^3) (0.88 \text{ m}^3) = 2,112.00 \text{ kg.}$$

Se divide el peso de la losa entre la longitud del muro que recibe el área tributaria.

$$(2,112.00 \text{ kg}) / (8.80 \text{ m}) = 240.00 \text{ k/m}$$

La carga que recibe el muro se multiplica por la longitud de cada ladrillo para conocer la carga muerta aplicada al LM.

$$(240.00 \text{ kg/m}) (0.24 \text{ m}) = 57.60 \text{ kg}$$

Se tiene como resultado que cada ladrillo del muro crítico recibe 57.60 kg de carga muerta.

Se suman las cargas vivas y las cargas muertas para obtener la carga total.

$$(24.00 \text{ kg}) + (57.60 \text{ kg}) = 81.60 \text{ kg}$$

La sección del LM es de 12 x 24 cm, por lo tanto, el área de contacto del LM es de 288.00 cm².

Se obtiene el esfuerzo soportado por el LM dividiendo la carga total por pieza entre el área de la pieza.

$$(81.60 \text{ kg}) / (288.00 \text{ cm}^2) = 0.2833 \text{ kg/cm}^2 = 0.028 \text{ N/mm}^2$$

Con este análisis de carga y con los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a compresión de los LM en cualquiera de sus opciones de dosificación se determina que son factibles como sistema constructivo para muros en viviendas de un nivel.

CONCLUSIONES.

Resistencia a la compresión.

La dosificación RS (Polvo de mármol, cemento, arena de río sustituida al 33 % con arena sílica y sin cal) obtuvo la mayor resistencia promedio de 0.93 N/mm², no cumpliendo con la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 para trabajar como ladrillo estructural que solicita una resistencia a la compresión de 6.86 N/mm² como mínimo. El LM RS cumple con la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 como ladrillo no estructural.

Por otro lado, el análisis cargas por áreas tributarias resultó favorable para que el LM en cualquiera de sus dosificaciones presentadas en este trabajo de investigación. Dado que el esfuerzo que requiere cada ladrillo para soportar la carga del área crítica del prototipo de vivienda propuesto es de 0.028 N/mm², lo que se concluye que según ésta trabajo de investigación y experimentación los LM sin curado y sin cal con sustitución parcial de la arena de río con un 33% de arena sílica, son factibles para la construcción de muros en viviendas de un solo nivel.

Rayos X.

Con los resultados de los componentes químicos de los LM AR, LM AT, LM S, LM SR y LM RS se puede observar la presencia de dióxido de silicio (SiO₂) y de Alúmina (Al₂O₃); los cuales son los componentes más importantes en la constitución de los materiales confirniéndoles resistencia, siendo el LM RS el que presenta los porcentajes de masa-masa (% m/m) más altos de SiO₂ y de Al₂O₃.

Siendo también el LM RS el que obtuvo la mayor resistencia a la compresión promedio de 0.93 N/mm². Se Confirma que el aumento de dióxido de sílice y alúmina en la mezcla aumenta la resistencia del LM.

Conclusión general.

Se confirma que es viable fabricar ladrillo con polvo de mármol en una pieza de mampostería y se empleada en la construcción de muros de carga en una vivienda de un nivel, ya que el esfuerzo que requiere el LM en soportar la carga de una losa sólida en un área crítica del prototipo de vivienda propuesto es de 0.028 N/mm².

Después de analizar las dosificaciones ensayadas se determina que la de mejor resultado es la del LM RS, sin curado y sin presencia de cal; con la dosificación mostrada en la tabla 35.

Tabla 35 Dosificación para fabricar ladrillo de polvo de mármol sustituyendo parcialmente la Arena de Río con un 33% con Arena Sílica (LM RS)

Material	Cantidad
Polvo de Mármol	15 kg
Cemento	2.25 kg
Arena Sílica	1 kg
Arena de Río	2 kg
Agua	7 l

Tabla 35. Dosificación para fabricar ladrillo de polvo de mármol sustituyendo parcialmente la Arena de Río con un 33% con Arena Sílica (LM RS)

Tabla 35

Dosificación para fabricar ladrillo de polvo de mármol sustituyendo parcialmente la Arena de Río con un 33% con Arena Sílica (LM RS)

Elaboración propia del autor.

REFERENCIAS

- L. S. Salgado, Tesis Propuesta de Sistema Constructivo de Muros de Mampostería para Viviendas a Base de Ladrillo Fabricado con Residuo de Mármol en la Comarca Lagunera, Torreón, Coah.: Universidad Autónoma de Coahuila., 2016.
- Coordinación General de Minería, Perfil de Mercado del Mármol, Ciudad de México: Dirección General de Desarrollo Minero, 2014.
- H. Shaul, «Propiedades of green concrete containing quarry rock dust and marble sludge powder as fine aggregate,» Journal of Engineering and Applied Sciences, pp. Vol. 4, No. 4, 2009.
- A. Santos, N. Villegas y J. Betancourt, «Residuo de mármol como insumo en la construcción civil- diagnóstico de la Comarca Lagunera,» Revista de Construcción. Vol. 11 Santiago, 2012.
- C. Nevarez y L. Rangel, Estudio experimental realizado para elaborar ladrillos con residuos de mármol (polvo), Gómez Palacio, Dgo.: Universidad Juárez de Estado de Durango UJED, 2014.
- J. F. P. Messco, Tesis “EFECTO DE LA ADICIÓN DE CAL EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO”, Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano, 2016.
- J. R. B. Chávez, L. G. L. Mendiola, R. Narayanasamy, F. J. O. Cocar y A. S. López, «Revisión sobre el uso de residuos de mármol para elaborar

materiales para la construcción.,» Revista de Arquitectura e Ingeniería, Vol. 9, núm 3 Empresas de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas Matanzas, Cuba, pp. 1-12, 2015.

O. N. d. N. y. C. ONNCCE, ONCCEE, Ciudad de México: ONNCCE SC, 2012.